



TUGAS AKHIR - TM091486

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK SUSPENSI DAN
ENERGI BANGKITAN *HYDRAULIC ELECTRO MECHANIC*
SHOCK ABSORBER DUA SELANG *COMPRESSION* SATU
REBOUND PORT DENGAN PEMBEBANAN AKUMULATOR**

DODI TRI HANDRIYANTO
NRP. 2111 106 028

Dosen Pembimbing
Dr. Eng Harus Laksana Guntur, ST., M. Eng

PROGAM SARJANA
LABORATORIUM SISTEM DINAMIS DAN VIBRASI
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT - TM091486

EXPERIMENTAL STUDY OF SUSPENSION
CHARACTERISTICS AND ENERGY RECOVERY HYDRAULIC
ELECTRO MECHANIC SHOCK ABSORBER TWO
COMPRESSION HOSE ONE REBOUND WITH
ACCUMULATOR LOAD

DODI TRI HANDRIYANTO
NRP. 2111 106 028

Academic Supervisor
Dr. Eng. HARUS LAKSANA GUNTUR, ST., M. Eng.

BACHELOR PROGRAM
DYNAMICS SYSTEM AND VIBRATION LABORATORY
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2014



TUGAS AKHIR - TM091486

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK SUSPENSI DAN ENERGI
BANGKITAN *HYDRAULIC ELECTRO MECHANIC SHOCK*
ABSORBER DUA SELANG *COMPRESSION* SATU *REBOUND*
DENGAN PEMBEBANAN AKUMULATOR**

DODI TRI HANDRIYANTO
NRP. 2111 106 028

Dosen Pembimbing
Dr. Eng Harus Laksana Guntur, ST., M. Eng

PROGAM SARJANA
LABORATORIUM SISTEM DINAMIS DAN VIBRASI
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT - TM091486

**EXPERIMENTAL STUDY OF SUSPENSION CHARACTERISTICS
AND ENERGY RECOVERY HYDRAULIC ELECTRO MECHANIC
SHOCK ABSORBER TWO COMPRESSION HOSE ONE REBOUND
WITH ACCUMULATOR LOAD**

DODI TRI HANDRIYANTO
NRP. 2111 106 028

Academic Supervisor
Dr. Eng. HARUS LAKSANA GUNTUR, ST., M. Eng.

BACHELOR PROGRAM
DYNAMICS SYSTEM AND VIBRATION LABORATORY
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2014

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK SUSPENSI DAN ENERGI BANGKITAN *HYDRAULIC ELECTRO* MECHANIC SHOCK ABSORBER DUA SELANG COMPRESSION SATU REBOUND DENGAN PEMBEBANAN AKUMULATOR

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Desain
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DODI TRI HANDRIYANTO

NRP. 2111 106 028

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- 
1. Dr.Eng Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng (Pembimbing)
 2. Dr. Wiwick Hendrowati, ST., MT (Penguji I)
 3. Dr. Unggul Wasiwitono, ST., M.Eng. Sc (Penguji II)
 4. Yohanes, ST., M.Sc (Penguji III)

SURABAYA

Juli, 2014



Studi Eksperimen Karakteristik Suspensi dan Energi Bangkitan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* Dua Selang *Compression Satu Rebound* dengan Pembebanan Akumulator

Nama Mahasiswa : Dodi Tri Handriyanto
NRP : 2111 106 028
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS
Pembimbing : Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, ST, M. Eng.

ABSTRAK

Perkembangan industri otomotif di Indonesia saat ini meningkat dengan pesat. Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar fosil, dimana jumlah kendaraan bermotor semakin banyak sedangkan ketersediaan bahan bakar fosil semakin menurun. Menurut penelitian *Center for Energy, Transportation, and the Environment (CETE)*, kendaraan bermotor hanya menyalurkan 16% dari tenaga bahan bakar yang digunakan. Sisanya sebesar 62% menjadi *engine losses* sebagai panas dan getaran^[1]. Salah satu cara meningkatkan efisiensi adalah dengan memanfaatkan energi yang terbuang, salah satunya adalah dengan memanfaatkan energi yang terdisipasi pada suspensi melalui konsep *Regenerative Shock Absorber (RSA)*.

Pada penelitian ini, dilakukan studi eksperimen karakteristik *Regenerative Shock Absorber (RSA)* yang dinamakan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA)*, dengan menganalisa pengaruh jumlah selang (*port*), karakteristik suspensi, dan energi bangkitan dari model akibat eksitasi impuls dan periodik pada tingkat frekuensi dan amplitudo yang bervariasi. Pengukuran energi bangkitan dilakukan dengan menggunakan *quarter car suspension test rig*. Mekanisme yang akan digunakan adalah dengan memasang *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA)* ini pada alat tersebut yang

kemudian akan diberikan massa uji yang merepresentasikan $\frac{1}{4}$ dari kendaraan (*city car*).

Dari penelitian ini didapatkan bahwa pengaruh jumlah selang (*port*) HEMSA dua selang *compression* satu *rebound* berdampak pada gaya yang dapat ditransferkan dari *cylinder hydraulic* 1 (*absorber*) saat *compression* lebih besar dari pada saat *rebound*, nilai konstanta redaman HEMSA tanpa pembebanan sebesar 3887.5 Ns/m, sedangkan nilai konstanta redaman HEMSA pembebanan akumulator saat terisi 0%, 55%, dan 100% berturut-turut sebesar 4244.5 Ns/m, 4494 Ns/m, dan 4779.5 Ns/m. Energi bangkitan HEMSA pembebanan akumulator saat terisi 0%, 55%, dan 100% berturut-turut adalah ketika frekuensi 1.4Hz yaitu sebesar 0.2 Watt, ketika frekuensi 1.7Hz ialah 0.37 Watt, dan ketika frekuensi 2Hz sebesar 1.65 Watt.

Kata kunci: *Energy recovery, Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA), pengujian kendaraan, suspensi.

Experimental Study of Suspension Characteristics and Energy Recovery Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber Two Compression Hose One Rebound with Accumulator Load

Name : Dodi Tri Handriyanto
NRP : 2111 106 028
Major : Mechanical Engineering
Supervisor : Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, ST., M. Eng.

ABSTRACT

The development of the automotive industry in Indonesia is growing rapidly. Growth in the number of motor vehicles is inversely proportional to the availability of fossil fuels, where the number of vehicles while the availability of more and more fossil fuels decreases. According to research by the Center for Energy, Transportation, and the Environment (CETE), motor vehicle only distribute 16% of the fuel energy is used. The remaining 62% to the engine as heat and vibration losses^[1]. One way to improve efficiency is to utilize the wasted energy, one of which is to utilize the energy dissipated in the suspension through the concept of Regenerative Shock Absorber (RSA).

In this research, experimental studies the characteristics of Regenerative Shock Absorber (RSA) called Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA), by analyzing the effect of the amount of hose (port), the characteristics of the suspension, and the energy recovery of the model due to the periodic and impulses excitation at frequency levels and amplitude were varied. Measurement of energy recovery is done by using a quarter car suspension test rig. The mechanism that will be used is to install Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA) is on the tools which will be given a test mass that represents $\frac{1}{4}$ of the vehicle (city car).

From this study it was found that the effect of the amount of hose (port) HEMSAs two compression hose on the force of the rebound effect that can be transferred from hydraulic cylinder

one (absorber) when compression is greater than at the time of rebound, damping constants HEMSA value without the imposition of 3887.5 Ns/m , while the value of the damping constant HEMSA accumulator charging when charged 0%, 55%, and 100%, respectively for 4244.5 Ns/m, 4494 Ns/m, and 4779.5 Ns/m. Energy accumulator charging current generation HEMSA charged 0%, 55%, and 100%, respectively, when the frequency of 1.4Hz is equal to 0.2 watts, while the frequency 1.7Hz is equal to 0.37 Watts, and when the frequency of 2Hz at 1.65 Watts.

Keywords: Energy recovery, Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA), suspension, vehicle testing.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat, hidayah, karunia, ilmu-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Studi Eksperimen Karakteristik Suspensi dan Energi Bangkitan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) dua selang *compression* satu *rebound* dengan pembebanan akumulator” ini dengan sebaik-baiknya dan sesuai dengan jadwal yang diharapkan. Keberhasilan dalam penyelesaian laporan penelitian tugas akhir ini, tidak lepas berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Ir. Bambang Pramujati, M.Sc., Ph.D. selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS.
2. Bapak Dr. Eng Harus Laksana Guntur ST., M.Eng dan selaku dosen pembimbing yang dengan sabar dan tidak henti-hentinya memberikan bimbingan, petunjuk, arahan, motivasi, dan dukungan, sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Ibu Dr. Wiwiek Hendrowati ST., MT selaku dosen penguji sekaligus teman diskusi yang baik, yang telah meluangkan waktu untuk memberikan dukungan, motivasi, saran dan masukan kepada penulis.
4. Bapak Dr. Eng Unggul Wasiwitono, ST., M.Eng.Sc dan Bapak Yohanes, ST., M.Sc. selaku dosen penguji, yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis.
5. Bapak Dr. Bambang Sudarmanta ST., MT selaku dosen wali penulis.
6. Bapak Ir. Gatot Kusrahardjo, MT selaku Kaprodi D3 Teknik Elektro, FTI-ITS, terima kasih atas jasa yang telah diberikan kepada penulis.
7. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat bagi penulis.

8. Seluruh karyawan jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah turut membantu demi kelancaran dalam pengerjaan tugas akhir ini.
9. Kedua orang tua penulis, kakak-kakak penulis, dan adik penulis yang telah memberikan do'a dan dukungan moral maupun materi kepada penulis.
10. Rekan-rekan Tugas Akhir di Laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi (Alfin, Taufik, Andini, Tyas, Yuly, Wegig, Fauzi, Burhan, Wisnu, mas Kaspul, mas Koifin, Nanang, Hendra, dkk.) pada umumnya, serta rekan-rekan satu kelompok HEMSA (Rendra, Ilham, Amel, Totong, Dito) pada khususnya.
11. Rekan-rekan Lintas Jalur, khususnya semester genap angkatan 2011 (Teguh, Boris, Yolas, Dimas, Bambang, dkk.) yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, baik itu berupa saran, doa, dan dukungan, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
12. Teman-teman indekost keputih perintis 1 (Itok, Kun, Adek, Adit, Aldo, Budi), terima kasih atas bantuan, jasa, pertolongan baik saat penulis sakit maupun sehat. Kalian adalah keluargaku di tanah rantau.
13. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhirnya penulis mengharapkan semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari segenap pembaca demi kebaikan dan kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, April 2014

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 7
2.1 Tinjauan terdahulu.....	7
2.1.1 Regenerative Shock Absorber Massachusets Insititute of Technology.....	7
2.1.2 Active electromagnetic suspension system oleh Bart L.J.Gysen dkk.....	7
2.1.3 Hydraulic Electromagnetic Energy-Regenerative Shock Absorber oleh Zhigang Fang dkk.....	8
2.1.4 Development and Analysis of a Regenerative Shock Absorber for Vehicle Suspension oleh Harus Laksana Guntur, dkk. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya-Indonesia...	9
2.2 Mekanika Getaran.....	10
2.2.1 Pengertian Getaran	10
2.2.2 Getaran Bebas.....	11
2.2.3 Getaran Paksa	11
2.2.4 Getaran Harmonik	11

2.2.5	Derajat Kebebasan (Degree of freedom)	14
2.2.5.1	Logarithmict decrement	15
2.2.6	Konstanta Redaman	16
2.3	Pengaruh Percepatan Kendaraan Terhadap Manusia.....	17
2.4	Alternator	18
2.5	Hukum Pascal	21
2.6	Hukum Bernoulli	21
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1	Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir	23
3.1.1	Studi Literatur dan survei alat uji.....	24
3.1.2	Persiapan Pengujian.....	24
3.1.3	Penentuan Konstanta Redaman Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber ...	24
3.1.4	Pengujian Konstanta Pegas.....	34
3.1.5	Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA Akibat Eksitasi Impuls dan Periodik...	37
3.1.6	Pengolahan Data Pengujian	42
3.2	Peralatan yang digunakan	42
3.2.1	Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA).....	42
3.2.2	Suspension test rig	44
3.2.3	Oscilloscope.....	44
3.2.4	Accumulator	45
3.2.5	Jangka Sorong.....	45
3.2.6	Stopwatch	46
3.2.7	Akselerometer.....	46
3.2.8	Multimeter	47
BAB IV	ANALISA DAN PEMBAHASAN	49
4.1	Penentuan konstanta pegas	49
4.1.1	Prinsip kerja	49
4.1.2	Hasil Pengujian Konstanta Pegas	50
4.2	Penentuan Konstanta Redaman	53

4.2.1	Penentuan Konstanta Redaman HEMSA tanpa pembebanan	54
4.2.1.1	Konstanta Redaman Hydraulic (viscous damping)	54
4.2.1.2	Konstanta Redaman Hydraulic dan Mechanic (viscous+friction damping).....	60
4.2.1.3	Konstanta Redaman HEMSA (viscous+friction+electric damping).....	62
4.2.1.4	Distribusi Konstanta Redaman HEMSA	63
4.2.2	Penentuan Konstanta Redaman HEMSA dengan Pembebanan Akumulator.....	65
4.2.2.1	Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 0% (0Ah)	65
4.2.2.2	Konstanta Redaman HEMSA dengan pada saat akumulator terisi 55% ($\pm 2,5$ Ah Ah)	67
4.2.2.3	Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 100% (5Ah)	69
4.2.2.4	Distribusi Konstanta Redaman HEMSA	71
4.3	Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA	74
4.3.1	Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA akibat Eksitasi Impuls dan Periodik Pembebanan Akumulator.....	76
4.3.1.1	Eksitasi Impuls	76
4.3.1.2	Eksitasi Periodik.....	77
4.3.2	Pengujian Energi Bangkitan HEMSA	83
4.3.3	Performa Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber	85
BAB V	PENUTUP	95
5.1	Kesimpulan.....	95
5.2	Saran.....	96
DAFTAR PUSTAKA		99



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Regenerative shock absorber Hydraulic</i> oleh Massachutes Institute of Technology.....	7
Gambar 2.2	<i>Active electromagnetic suspension</i> system oleh Bart L.J.Gysen dkk.....	8
Gambar 2.3	<i>Hydraulic Electromagnetic Shock Absorber</i> oleh Zhigang Fang dik	9
Gambar 2.4	FRSA.....	10
Gambar 2.5	Eksitasi pada landasan.....	12
Gambar 2.6	Free Body Diagram eksitasi pada base	12
Gambar 2.7	(a) <i>displacement transmissibility vs frequency ratio</i> (b) <i>force transmissibility vs frequency ratio</i>	14
Gambar 2.8	<i>Single Degree of freedom</i> (1 DOF) dengan <i>viscous damper</i>	15
Gambar 2.9	Sistem 1 DOF pada <i>shock absorber</i> sepeda motor dengan peredam dan analisa sistem eksperimennya	15
Gambar 2.10	(a) Grafik pengaruh gaya redaman terhadap perpindahan (b) Grafik pengaruh gaya redaman terhadap kecepatan.....	17
Gambar 2.11	Grafik kriteria kenyamanan berkendara standart ISO 2631.	18
Gambar 2.12	Prinsip kerja alternator	20
Gambar 2.13	Metode penyearahan alternator 3 fasa.....	20
Gambar 2.14	Penerapan hukum Bernoulli pada penampang	22
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Pengujian	23
Gambar 3.2	Skema Uji Statis.....	25
Gambar 3.3	Skema pengujian <i>viscous damping</i>	26
Gambar 3.4	<i>Flowchart</i> penentuan konstanta redaman <i>viscous damping</i>	27
Gambar 3.5	Skema pengujian <i>viscous + friction damping</i>	28
Gambar 3.6	<i>Flowchart</i> penentuan konstanta redaman <i>viscous + friction damping</i>	29

Gambar 3.7	Skema pengujian <i>viscous + friction + electric damping</i> tanpa pembebanan.	30
Gambar 3.8	<i>Flowchart</i> penentuan konstanta redaman <i>viscous + friction + electric damping</i> tanpa pembebanan... ..	31
Gambar 3.9	Skema pengujian konstanta redaman <i>viscous + friction + electric damping</i> dengan pembebanan aki.	32
Gambar 3.10	<i>Flowchart</i> penentuan konstanta redaman <i>viscous + friction + electric damping</i> dengan pembebanan aki.....	34
Gambar 3.11	Skema pengujian konstanta pegas	35
Gambar 3.12	<i>Flowchart</i> pengujian konstanta pegas.	36
Gambar 3.13	<i>Flowchart</i> pengujian HEMSA untuk eksitasi impuls	39
Gambar 3.14	Skema pengujian HEMSA untuk eksitasi impuls	40
Gambar 3.15	<i>Flowchart</i> pengujian HEMSA untuk eksitasi periodik.....	41
Gambar 3.16	Skema pengujian HEMSA untuk eksitasi periodik	42
Gambar 3.17	<i>Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA)</i>	43
Gambar 3.18	<i>Suspension test rig</i>	44
Gambar 3.19	<i>Oscilloscope</i>	44
Gambar 3.20	<i>Accumulator</i>	45
Gambar 3.21	Jangka Sorong	46
Gambar 3.22	<i>Stopwatch</i>	46
Gambar 3.23	Akselerometer	47
Gambar 3.24	Multimeter.....	47
Gambar 4.1	(a). Beban yang divariasikan (b). Pegas (c). <i>Suspension test rig</i>	49
Gambar 4.2	Grafik Nilai Konstanta Pegas	52
Gambar 4.3	(a) pengujian <i>compression</i> , (b) pengujian <i>rebound</i>	53
Gambar 4.4	Skema mekanisme <i>hydraulic</i> pada HEMSA	55

Gambar 4.5	Grafik gaya redaman fungsi kecepatan <i>viscous damping</i>	59
Gambar 4.6	Grafik gaya redaman fungsi kecepatan <i>viscous+friction damping</i>	61
Gambar 4.7	Grafik gaya redaman fungsi kecepatan <i>viscous+friction+electric damping</i>	63
Gambar 4.8	Digram Batang Distribusi Konstanta Redaman Komponen HEMSA	65
Gambar 4.9	Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 0%	67
Gambar 4.10	Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 55%	69
Gambar 4.11	Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 100%	71
Gambar 4.12	Diagram batang distribusi nilai konstanta redaman HEMSA dua selang <i>compression</i> satu <i>rebound</i> dengan variasi pembebanan akumulator	73
Gambar 4.13	Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA	75
Gambar 4.14	Grafik respon <i>sprung mass</i> pengujian impuls.	76
Gambar 4.15	Grafik respon <i>base exciter</i> (sumber eksitasi).	77
Gambar 4.16	Grafik respon <i>sprung mass</i> eksitasi periodik 1,4Hz dengan pembebanan akumulator	78
Gambar 4.17	Grafik respon <i>base exciter</i> eksitasi periodik 1,4Hz dengan pembebanan akumulator	78
Gambar 4.18	Grafik respon <i>sprung mass</i> eksitasi periodik 1,7 Hz dengan pembebanan akumulator	80
Gambar 4.19	Grafik respon <i>base exciter</i> eksitasi periodik 1,7 Hz dengan pembebanan akumulator	80
Gambar 4. 20	Grafik respon <i>sprung mass</i> eksitasi periodik 2 Hz dengan pembebanan akumulator	82
Gambar 4.21	Grafik respon <i>base exciter</i> eksitasi periodik 2 Hz dengan pembebanan akumulator	82
Gambar 4.22	Diagram batang energi bangkitan HEMSA ekstitasi periodik 1.4 Hz, 1.7 Hz, 2Hz.....	84

Gambar 4.23	Grafik efisiensi performa HEMSA pembebanan akumulator.....	87
Gambar 4.24	Grafik <i>force transimibility</i> (FT/kY) versus <i>frequency ratio</i> (r)	89
Gambar 4.25	Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,4 Hz. (merah) <i>accu 0% charged</i> (biru) <i>accu 55% charged</i> (hijau) <i>accu 100% charged</i>	90
Gambar 4.26	Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,7 Hz. (merah) <i>accu 0% charged</i> (biru) <i>accu 55% charged</i> (hijau) <i>accu 100% charged</i>	91
Gambar 4.27	Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 2 Hz. (merah) <i>accu 0% charged</i> (biru) <i>accu 55% charged</i> (hijau) <i>accu 100% charged</i>	92

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi HEMSA dua selang <i>compression</i> satu <i>rebound</i>	43
Tabel 4.1	Pengujian Konstanta Pegas.....	50
Tabel 4.2	Uji Konstanta Redaman <i>Viscous Damping (Compression)</i>	58
Tabel 4.3	Uji Konstanta Redaman <i>Viscous Damping (Rebound)</i>	58
Tabel 4.4	Uji Konstanta Redaman <i>Viscous+Friction Damping (Compression)</i>	60
Tabel 4.5	Uji Konstanta Redaman <i>Viscous+Friction Damping (Rebound)</i>	60
Tabel 4.6	Uji Konstanta Redaman <i>Viscous+Friction+Electric Damping (Compression)</i>	62
Tabel 4.7	Uji Konstanta Redaman <i>Viscous+Friction+Electric Damping (Rebound)</i>	62
Tabel 4.8	Distribusi Konstanta Redaman HEMSA	64
Tabel 4.9	Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 0% (<i>Compression</i>)	66
Tabel 4.10	Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 0% (<i>Rebound</i>)	66
Tabel 4.11	Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 55% (<i>Compression</i>)	68
Tabel 4.12	Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 55% (<i>Rebound</i>)	68
Tabel 4.13	Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 100% (<i>Compression</i>)	70
Tabel 4.14	Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 100% (<i>Rebound</i>)	70
Tabel 4.15	Distribusi Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 0%.....	72
Tabel 4.16	Distribusi Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 55%.....	72

Tabel 4.17	Distribusi Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 100%	72
Tabel 4.18	Energi bangkitan eksitasi periodik	84
Tabel 4.19	Effisiensi HEMSA pada saat pada saat akumulator terisi 0%	85
Tabel 4.20	Effisiensi HEMSA pada saat pada saat akumulator terisi 55%	85
Tabel 4.21	Effisiensi HEMSA pada saat pada saat akumulator terisi 100%	86
Tabel 4.22	Transmissibilitas HEMSA teoritis dan percobaan pada saat akumulator terisi 0%	88
Tabel 4.23	Transmissibilitas HEMSA teoritis dan percobaan pada saat akumulator terisi 55%	88
Tabel 4.24	Transmissibilitas HEMSA teoritis dan percobaan pada saat akumulator terisi 100%	88

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri otomotif di Indonesia saat ini meningkat dengan pesat. Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar fosil, dimana jumlah kendaraan bermotor semakin banyak sedangkan ketersediaan bahan bakar fosil semakin menurun. Menurut *Center for Energy, Transportation and the Environment (CETE)*, yaitu sebuah program penelitian yang diterapkan oleh University of Tennessee Chattanooga, untuk mengembangkan dan menyebarkan teknologi maju yang memanfaatkan sumber yang bersih dan aman energi, menyatakan bahwa kendaraan bermotor hanya efektif menggunakan 16% tenaga bahan bakar dari hasil pembakaran yang digunakan. Sisanya sebesar 62% menjadi *engine losses* sebagai panas dan getaran, 11% *engine idling*, 6% *transmission losses*, serta 2% dari penambahan aksesoris seperti *Air Conditioner (AC)*, wiper, dll^[1]. Sehingga, tuntutan untuk membuat kendaraan bermotor yang hemat energi dan ramah lingkungan merupakan tantangan dan kewajiban. Salah satu solusi untuk memenuhi tuntutan tersebut ialah dengan mencari, membuat, dan mengembangkan sumber energi alternatif.

Salah satu sumber energi alternatif yang dikembangkan dalam kendaraan adalah VEH (*Vibration Energy Harvesting*) yaitu alat pemanen energi yang memanfaatkan getaran kendaraan pada sistem suspensi. Salah satu alat yang dibuat yaitu *Regenerative Shock Absorber (RSA)*, yang memanfaatkan gerak relatif antara sistem suspensi dengan bodi kendaraan untuk menghasilkan energi listrik. Telah banyak dikembangkan penelitian RSA, baik oleh ilmuwan maupun instansi pendidikan. Berdasarkan penelitian terdahulu, di ITS telah dikembangkan VEH (*Vibration Energy Harvesting*). Pada penelitian ini, alat ini memanfaatkan gerak translasi pada sistem suspensi berupa *cylinder hydraulic*, yang

akan mendistribusikan aliran fluida ke *cylinder hydraulic* lainnya sebagai aktuator. Gerak translasi aktuator akan dikonversi menjadi gerak rotasi dengan menggunakan mekanisme *rack and pinion gear*, kemudian gerak rotasi diteruskan oleh *gearbox* yang di dalamnya terdapat *bevel gear* dan menggunakan *one-way bearing* untuk membuat putaran yang searah, kemudian dihubungkan ke generator melalui induksi elektromagnetik sehingga menghasilkan energi listrik berupa tegangan.

Dari uraian di atas, maka penelitian ini tertuju pada studi eksperimen karakteristik hasil pengembangan mekanisme dan desain *Regenerative Shock Absorber*. Dalam penelitian ini dianalisa karakteristik redaman *Regenerative Shock Absorber* dan besar energi yang dibangkitkan *Regenerative Shock Absorber* dengan pengujian eksitasi impulsif dan eksitasi periodik. Harapan dari penelitian ini adalah membuat sumber energi listrik di masa mendatang pada kendaraan bermotor dan mampu sebagai *Shock Absorber*. *Regenerative Shock Absorber* ini dinamakan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA).

1.2 Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini akan dibahas beberapa pokok permasalahan, antara lain:

1. Bagaimana pengaruh jumlah *port* terhadap karakteristik gaya redaman dari *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) dua selang *compression* satu *rebound*.
2. Bagaimana karakteristik suspensi dari *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) dua selang *compression* satu *rebound* dengan pembebanan akumulator.
3. Bagaimana karakteristik energi bangkitan yang dihasilkan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) dua selang *compression* satu *rebound* dengan pembebanan akumulator.
4. Bagaimana menganalisa hubungan antara karakteristik suspensi dan energi bangkitan *Hydraulic Electro Mechanic*

Shock Absorber (HEMSA) dua selang *compression* satu *rebound* dengan pembebanan akumulator.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh jumlah *port* terhadap karakteristik gaya redaman dari *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) dua selang *compression* satu *rebound*.
2. Mengetahui karakteristik suspensi pada *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) dua selang *compression* satu *rebound* dengan pembebanan akumulator.
3. Mengetahui karakteristik energi bangkitan yang dihasilkan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) dua selang *compression* satu *rebound* dengan pembebanan akumulator.
4. Mampu menganalisa hubungan antara karakteristik suspensi dan energi bangkitan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) dua selang *compression* satu *rebound* dengan pembebanan akumulator.

1.4 Batasan Masalah

Untuk mempermudah pengerjaan dalam penelitian ini, maka penulis memerlukan batasan-batasan masalah yang akan dibahas, antara lain:

1. Model pengujian yang digunakan hanya $\frac{1}{4}$ dari kendaraan.
2. Eksitasi yang digunakan adalah alat uji suspensi, yaitu *suspension test rig*.
3. Generator yang digunakan adalah alternator sepeda motor Yamaha Jupiter MX.
4. Pengujian ini hanya menggunakan 1 derajat kebebasan (DOF).
5. *Disturbance* dan *noise* yang terjadi pada pengukuran difilter.
6. Akumulator yang digunakan yaitu: 12V, 5Ah.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini antara lain:

1. Mampu menghasilkan energi alternatif.
2. Mampu memahami dan mengetahui tentang konsep perancangan dan pengembangan produk.
3. Hasil tugas akhir ini dapat dimanfaatkan sebagai acuan pengembangan *regenerative shock absorber* berikutnya.
4. Memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi konsep kendaraan masa depan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan dibagi dalam beberapa bab sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang dari tugas akhir ini, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan tugas akhir.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi tentang pengenalan tentang *shock absorber*, pengembangan dalam merancang *shock absorber* untuk menghasilkan energi dan rumusan mekanika getaran yang akan dipakai dalam melakukan pengujian.

3. Bab III Metodologi

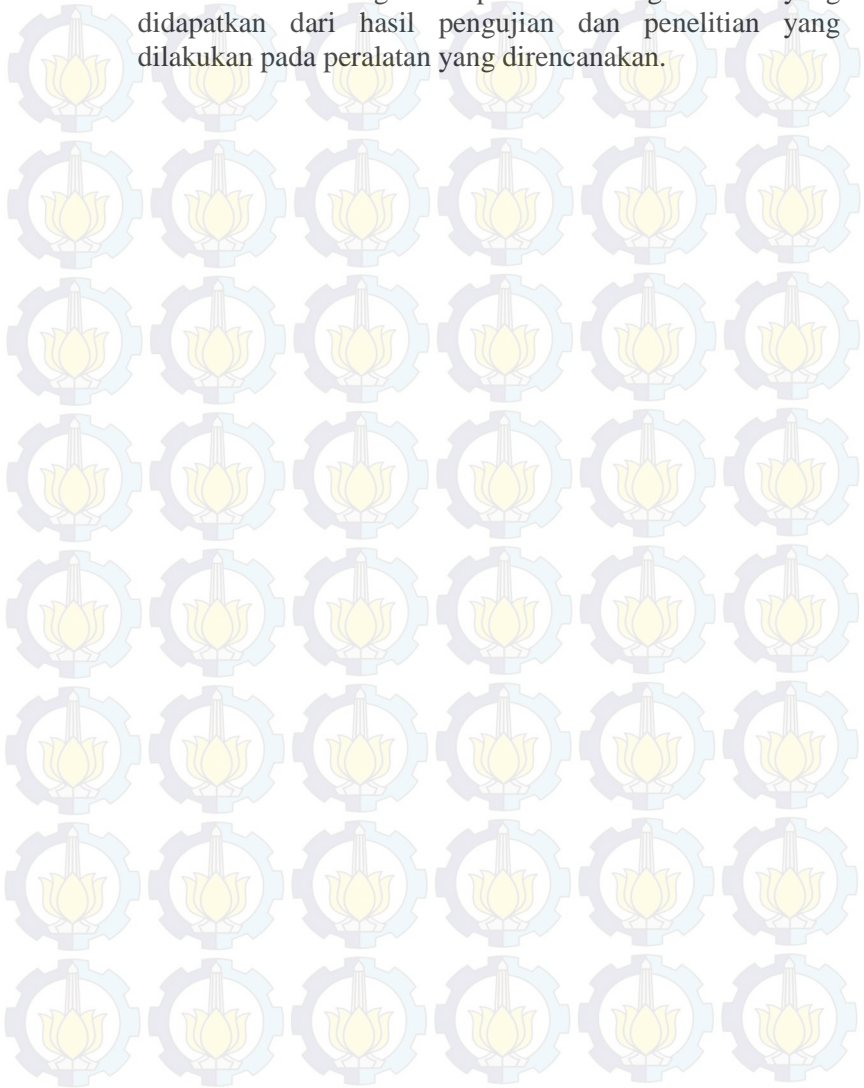
Bab ini berisi tentang cara-cara pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian diantaranya, penentuan nilai konstanta redaman pada *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA), pengujian konstanta pegas, dan pengujian mekanisme alat dengan eksitasi impuls dan periodik dengan menggunakan *suspension test rig*.

4. Bab IV Analisa dan Pembahasan

Berisi tentang data-data pengujian dari alat yang digunakan, perhitungan-perhitungan gaya redaman fungsi kecepatan, energi bangkitan, grafik respon massa, pengaruh kenyamanan penumpang, dan performa dari *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA).

5. Bab V Penutup

Berisi tentang kesimpulan dari tugas akhir yang didapatkan dari hasil pengujian dan penelitian yang dilakukan pada peralatan yang direncanakan.





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan terdahulu

2.1.1 *Regenerative Shock Absorber* Massachusets Insititute of Technology

Pada tahun 2009, tim dari *Massachutes Institute of Technology* telah menciptakan shock absorber yang mampu menghasilkan energi listrik ditunjukkan pada gambar 2.1. Prinsip kerja shock absorber ini adalah dengan menggunakan sistem hidrolik, dimana sistem hidrolik ini berfungsi memaksakan cairan untuk masuk menuju turbin dan kemudian turbin akan bergerak memutar generator. Sistem pada *shock absorber* ini dikontrol oleh sebuah rangkaian elektronik aktif yang berfungsi untuk mengoptimalkan redaman agar lebih nyaman dari peredam konvensional. Berdasarkan hasil dari pengujian *regenerative shock absorber* ini mampu menghasilkan daya sebesar 200 watt.

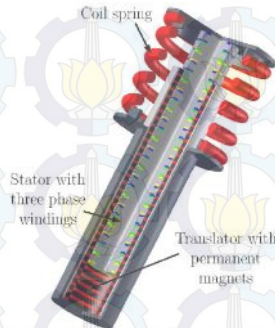


Gambar 2.1 *Regenerative shock absorber Hydraulic* oleh
Massachutes Institute of Technology^[2]

2.1.2 *Active electromagnetic suspension system* oleh Bart L.J.Gysen dkk

Pada tahun 2010, tim dari *Eindhoven University of Technology* membuat satu alat yaitu *active electromagnetic suspension system* yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Tim ini bekerjasama dengan BMW dan SKF untuk membuat alat tersebut. Prinsip kerja dari alat ini sama halnya dengan prinsip kerja dari *linier electromagnetic absorber* yang menggunakan magnet dan

kumparan yang bergerak translasi sehingga menghasilkan listrik. Suspensi ini termasuk dalam kategori suspensi aktif. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, electromagnetic suspension ini dapat menghasilkan daya lebih kurang sebesar 2 KW dan tingkat kenyamanan dalam berkendara meningkat menjadi 60%.

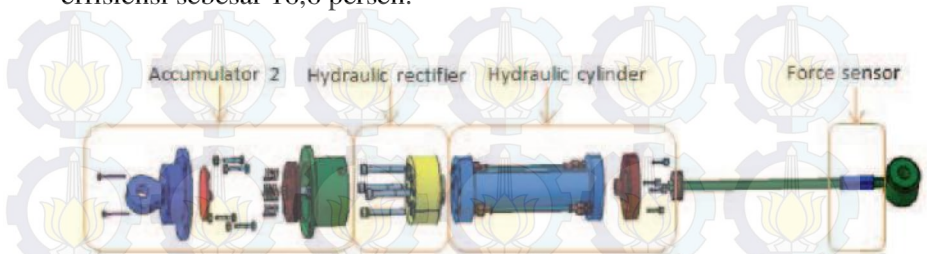


Gambar 2.2 *Active electromagnetic suspension system* oleh Bart L.J.Gysen dkk^[3]

2.1.3 *Hydraulic Electromagnetic Energy-Regenerative Shock Absorber* oleh Zhigang Fang dkk

Pada tahun 2013, tim dari *Wuhan University of Technology* membuat suatu alat yaitu *Hydraulic Electromagnetic Shock Absorber* yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Prinsip kerja dari alat ini adalah piston dari silinder hidrolik didorong untuk membalas *under external stimulus*, minyak mengalir ke dalam dan keluar dari penyearah hidrolik dalam langkah kompresi atau stroke ekstensi, dan kemudian minyak mengalir melalui akumulator untuk melemahkan fluktuasi, yang mana digunakan untuk menggerakkan motor hidrolik untuk menghasilkan listrik. Energi listrik dapat mengisi baterai atau pasokan langsung ke kendaraan. Alat ini menggunakan dua akumulator, akumulator 1 digunakan untuk menstabilkan aliran untuk meningkatkan efisiensi kerja dari motor hidrolik, dan fungsi akumulator 2 adalah untuk mencegah distorsi high-frequency dari shock absorber. *HESA prototype* ini

menghasilkan daya sebesar 200 watt di 10 hz-3 mm dan memiliki efisiensi sebesar 16,6 persen.



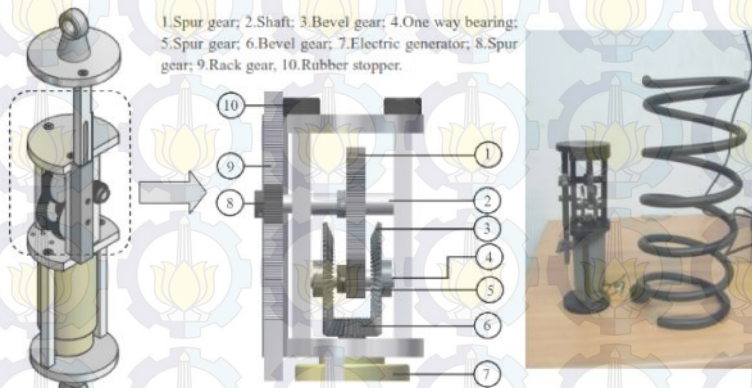
Gambar 2.3 *Hydraulic Electromagnetic Shock Absorber* oleh Zhigang Fang dkk^[4]

2.1.4 *Development and Analysis of a Regenerative Shock Absorber for Vehicle Suspension* oleh Harus Laksana Guntur, dkk. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya-Indonesia

Pada tahun 2013, Harus Laksana Guntur, Wiwiek Hendrowati dan Rahman Roy Lubis melakukan pengembangan dan pengujian *prototype* RSA yang disebut FRSA seperti pada gambar 2.4. Pengembangan yang dilakukan adalah penyempurnaan Generasi RSA sebelumnya sehingga didapatkan bentuk dan massa dari alat yang lebih baik. Prinsip kerja dari alat ini memanfaatkan gerak naik dan turun pada *shock absorber* yang di hubungkan pada sistem transmisi gear berupa *rack* dan *pinion gear* yang berfungsi mengubah gerak translasi (gerak naik turun) menjadi gerak rotasi, lalu gerak rotasi digunakan untuk memutar *bevel gear* yang telah dipasang *one way bearing* untuk bisa memanen gerak naik dan turun tersebut, lalu gerakan rotasi tersebut digunakan untuk memutar *electromagnetic generator*.

Pengujian yang digunakan adalah dengan memasang suspensi secara bergantian ke *suspension test rig*, kemudian diuji dengan massa yang sudah di hitung. Hasil yang didapatkan pada pengujian ini adalah pada konvensional *shock absorber* koefisien

redaman didapat sebesar 4338 Ns/m. Sedangkan pada RSA (17 Ohm) sebesar 3190 Ns/m, pada RSA (5.5 Ohm) sebesar 3190 Ns/m, dan pada RSA (0.2 Ohm) sebesar 2552 Ns/m. Untuk *transmissibility displacement*, titik resonansi konvensional *shock absorber* dengan 0.6 berada pada 1.3 sedangkan 0.8 berada pada 1.195 untuk RSA 17 Ohm, titik resonansi 0.6 berada pada 0.75 sedangkan 0.8 berada pada 0.67.



Gambar 2.4 FRSA^[5]

2.2 Mekanika Getaran

2.2.1 Pengertian Getaran

Secara umum getaran dapat didefinisikan sebagai gerakan bolak-balik suatu benda dari posisi awal melalui titik keseimbangan. Setiap komponen mekanikal memiliki berat dan *properties* yang menyerupai pegas, ada dua kelompok umum dari getaran, yaitu getaran bebas dan getaran paksa. Semua sistem yang bergetar mengalami redaman sampai derajat tertentu karena energi terdisipasi oleh gesekan dan tahanan lain. Jika redaman kecil maka pengaruhnya sangat kecil terhadap frekuensi naturalnya, dan perhitungan frekuensi natural biasanya dilakukan atas dasar tidak ada redaman.

2.2.2 Getaran Bebas

Getaran bebas terjadi jika sistem beroksilasi karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri, dan jika ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergerak pada satu atau lebih frekuensi naturalnya, yang merupakan sifat sistem dinamika yang dibentuk oleh distribusi massa dan kekuatannya. Semua sistem yang memiliki massa dan elastisitas dapat mengalami getaran bebas atau getaran yang terjadi tanpa rangsangan luar.

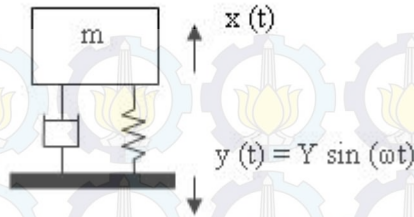
2.2.3 Getaran Paksa

Getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar, jika rangsangan tersebut beroksilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapatkan keadaan resonansi dan osilasi yang besar dan beresiko membahayakan. Kerusakan pada struktur besar seperti jembatan, gedung ataupun sayap pesawat terbang, merupakan contoh kejadian yang disebabkan adanya resonansi. Jadi perhitungan frekuensi natural merupakan hal yang utama.

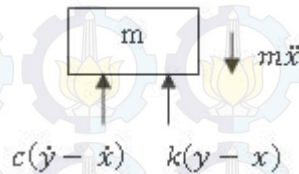
Bila suatu sistem dipengaruhi oleh eksitasi harmonik, maka respon getarannya akan berlangsung pada frekuensi yang sama dengan frekuensi eksitasi. Sumber-sumber eksitasi harmonik bisa berasal dari gaya-gaya pada peralatan mesin torak atau gerak mesin itu sendiri. Mula-mula akan diperhatikan sistem dengan satu derajat kebebasan yang mengalami redaman dan dirangsang oleh gaya harmonik $y(t) = F_0 \sin(\omega t)$, seperti pada gambar 2.5.

2.2.4 Getaran Harmonik

Getaran biasanya tidak terjadi hanya pada sistem pegasnya ataupun yang ditopangnya disini landasan dari sistem juga akan mengalami getaran berupa getaran harmonik.



Gambar 2.5 Eksitasi pada landasan



Gambar 2.6 Free Body Diagram eksitasi pada base

Dari *free body diagram* pada gambar 2.6 dan eksitasi pada landasan pada gambar 2.5 di atas, diperoleh persamaan gerak seperti di bawah:

$$m\ddot{x} + c(\dot{x} - \dot{y}) + k(x - y) = 0 \quad (2.1)$$

Steady state response dari massa adalah, $x_p(t)$ yang dapat diekspresikan menjadi persamaan seperti di bawah dengan menggunakan persamaan:

$$x_p(t) = \frac{kY \sin(\omega t - \theta_1)}{[(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2]^{1/2}} + \frac{\omega cY \sin(\omega t - \theta_1)}{[(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2]^{1/2}} \quad (2.2)$$

Sehingga persamaan sistem diatas dapat ditulis:

$$\begin{aligned} x_p(t) &= X \sin(\omega t - \theta_1 - \alpha) \\ &= \left[\frac{k^2 + (c\omega)^2}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} \right]^{1/2} \sin(\omega t - \theta_1 - \alpha) \end{aligned} \quad (2.3)$$

Dimana nilai $\alpha = \tan^{-1} \left[-\frac{c\omega}{k} \right]$ dan $\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{c\omega}{k - m\omega^2} \right)$

Dari persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi:

$$x_p(t) = X \sin(\omega t - \theta) \quad (2.4)$$

Dimana $\frac{X}{Y}$ adalah *displacement transmissibility*:

$$\frac{X}{Y} = \left[\frac{k^2 + (c\omega)^2}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} \right]^{1/2} = \left[\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2} \quad (2.5)$$

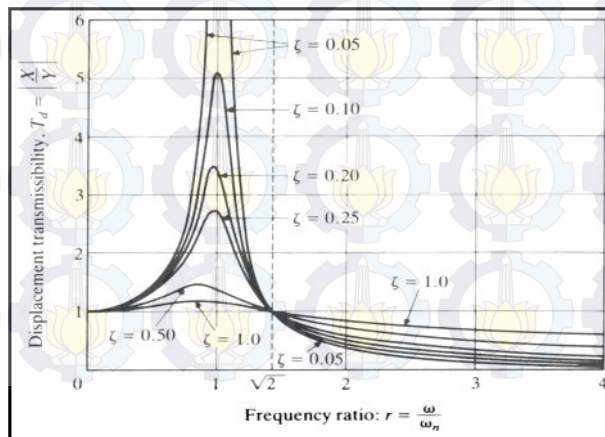
Dan,

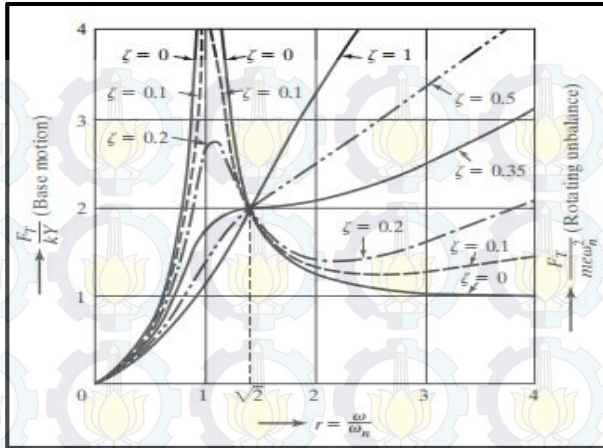
$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{mc\omega^3}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} \right] = \tan^{-1} \left[\frac{2\zeta r^3}{1 + (4\zeta^2 - 1)r^2} \right] \quad (2.6)$$

Dimana $\frac{F_T}{kY}$ adalah *force transmissibility*:

$$\frac{F_T}{kY} = r^2 \left[\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2} \quad (2.7)$$

Keterkaitan antara *damping ratio*, *frequency ratio*, *displacement transmissibility*, dan *force transmissibility* ditunjukkan pada grafik dibawah ini:

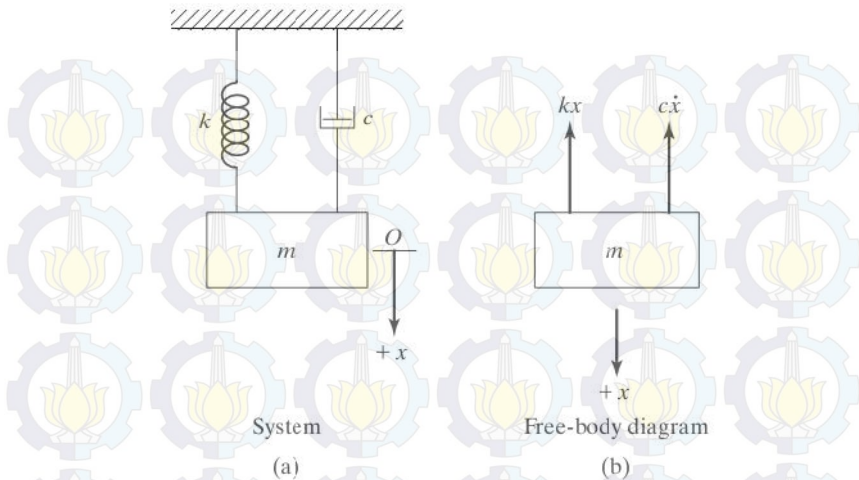




Gambar 2.7 (a) *displacement transmissibility vs frequency ratio*
 (b) *force transmissibility vs frequency ratio* ^[6]

2.2.5 Derajat Kebebasan (*Degree of freedom*)

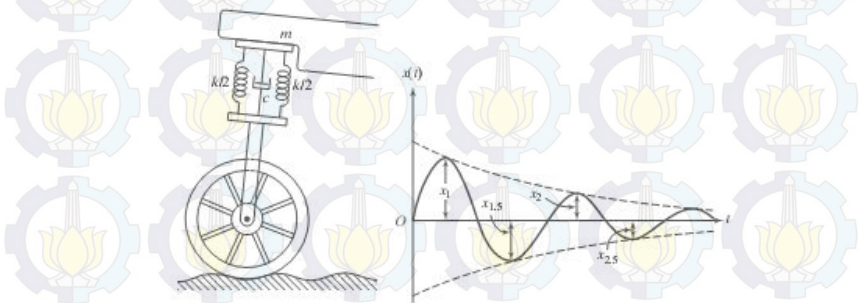
Jumlah koordinat bebas yang dibutuhkan untuk menggambarkan gerak suatu sistem disebut derajat kebebasan atau *degree of freedom* (DOF). Jadi suatu partikel bebas yang mengalami gerak umum dalam ruangan akan memiliki tiga derajat kebebasan (sumbu x, sumbu y dan sumbu z). Sedangkan benda kaku akan mempunyai enam derajat kebebasan, tiga komponen posisi dan tiga sudut yang menyatakan orientasinya. Secara garis besar sistem *Degree of freedom* dibagi menjadi dua yaitu sistem dengan 1 derajat kebebasan (1 DOF) dan sistem mempunyai derajat kebebasan lebih dari satu (multi DOF). Untuk kedua sistem tersebut dapat diperlihatkan pada gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8 *Single Degree of freedom (1 DOF) dengan viscous damper*^[6]

2.2.5.1 Logarithmic decrement

Logarithmic decrement merupakan tampilan dari pengurangan amplitudo pada getaran bebas teredam. Dengan mengetahui seberapa besar *logarithmic decrement* () pada sistem tersebut, maka besarnya konstanta redaman pada sistem juga dapat diketahui pula.



Gambar 2.9 Sistem 1 DOF pada *shock absorber* sepeda motor dengan peredam dan analisa sistem eksperimennya^[6]

Dari gambar 2.9 di atas diketahui dengan t sebagai waktu pada saat puncak pertama dan kedua, menunjukkan perpindahan puncak yang dimaksud sebagai x_1 dan x_2 , dan membentuk rasio:

$$\frac{x_1}{x_2} = e^{2\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (2.8)$$

Jika kedua ruas dilogaritma naturalkan akan menjadi:

$$\delta = \ln \frac{x_1}{x_2} = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (2.9)$$

Persamaan diatas juga dapat ditulis sebagai:

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{(2\pi)^2 + \delta^2}} \quad (2.10)$$

Dari grafik *displacement* fungsi waktu akan diperoleh nilai dari x_1 dan x_2 , kemudian nilai tersebut akan dimasukkan dalam persamaan *decreament* sehingga menjadi:

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{4(\pi)^2 + \delta^2}} \quad (2.11)$$

Dimana:

= *damping ratio*

= *logaritmik decreament* = $\ln \frac{x_1}{x_2}$

Nilai dari *damping ratio* sendiri dapat dicari dengan rumus:

$$\zeta = \frac{c}{c_c} = \frac{c}{2\sqrt{kn}} \quad (2.12)$$

Dimana:

k = konstanta pegas (N/m)

C = konstanta damping

m = massa beban (kg)

2.2.6 Konstanta Redaman

Dari nilai *damping ratio* dapat dicari besarnya konstanta redaman dari sistem dengan persamaan berikut:

$$\zeta = \frac{c}{c_c} \quad (2.13)$$

Dimana:

$$C_c = 2\sqrt{km} \quad (2.14)$$

Sehingga konstanta redaman dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$c = \zeta 2\sqrt{km} \quad (2.15)$$

Dimana:

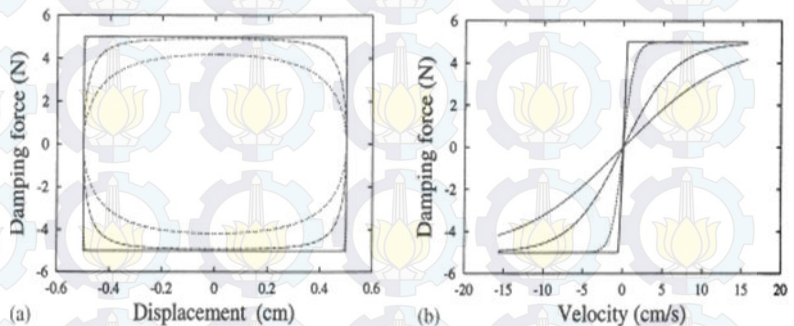
ζ = *damping ratio*

k = konstanta pegas (N/m)

c = konstanta redaman (Ns/m)

C_c = *Critical damping*

Gaya redaman merupakan gaya yang meredam atau mengurangi getaran yang terjadi dalam sistem. Besarnya gaya redaman tergantung pada nilai konstanta redaman.



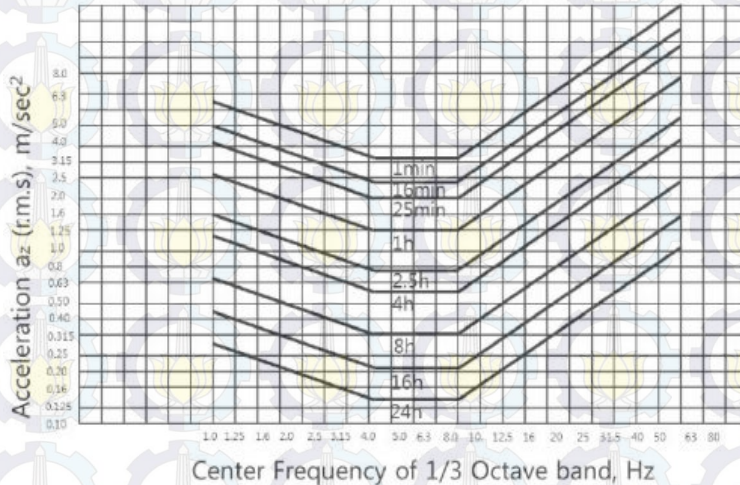
Gambar 2.10 (a) Grafik pengaruh gaya redaman terhadap perpindahan (b) Grafik pengaruh gaya redaman terhadap kecepatan

2.3 Pengaruh Percepatan Kendaraan Terhadap Manusia

Gerakan utama yang dialami pengemudi dan penumpang selama berkendara adalah berupa percepatan atau perlambatan dan getaran. Informasi ketahanan tubuh manusia terhadap percepatan

merupakan hal yang sangat penting sebagai referensi dalam perancangan ketahanan bodi kendaraan terhadap *impact*.

Untuk kriteria kenyamanan berdasarkan besar percepatan menurut standart ISO 2631, ditampilkan dalam grafik pada gambar 2.11 di bawah ini.



Gambar 2.11 Grafik kriteria kenyamanan berkendara standart ISO 2631^[7].

2.4 Alternator

Alternator adalah suatu penghasil tenaga listrik dengan landasan hukum Faraday. Jika pada sekeliling penghantar terjadi perubahan medan magnet, maka pada penghantar tersebut akan dibangkitkan suatu gaya gerak listrik (GGL) yang sifatnya menentang perubahan medan tersebut. Untuk dapat terjadinya gaya gerak listrik (GGL) tersebut diperlukan dua kategori masukan, yaitu:

1. Masukan tenaga mekanis yang akan dihasilkan oleh penggerak mula (*primemover*).

2. Arus masukan (I_f) yang berupa arus searah yang akan menghasilkan medan magnet yang dapat diatur dengan mudah.

Di bawah ini akan dijelaskan secara sederhana cara pembangkitan listrik dari sebuah alternator (gambar 2.12). Apabila pada rotor alternator diberikan arus listrik maka pada kutub-kutub rotor tersebut timbul medan magnet. Apabila rotor alternator tersebut diputar pada kecepatan nominalnya yang diperoleh dari putaran motor penggerak atau flywheel, maka pada kumparan medan akan timbul tegangan listrik sebesar:

$$E_{\max} = N.B.A. \quad (2.16)$$

Dimana:

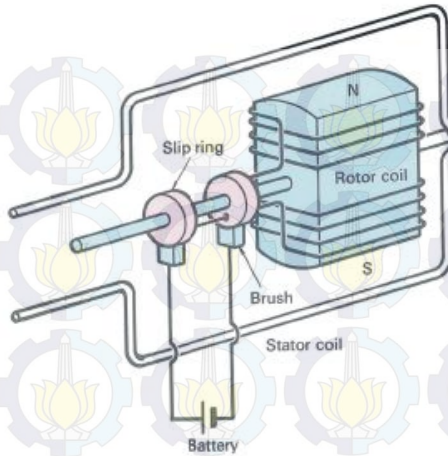
N = jumlah lilitan

B = kuat medan magnet (T)

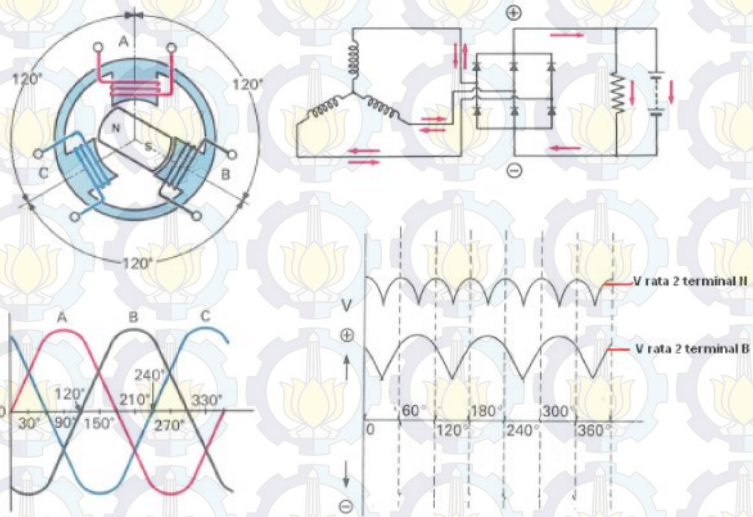
A = luas kumparan (m^2)

= kecepatan sudut (rad/s)

Umumnya alternator mempunyai 3 kumparan medan, setiap kumparan medan tersebut dipasang dengan jarak 120° atau biasa dikenal dengan alternator 3 fasa. Susunan tersebut menghasilkan tegangan listrik yang lebih merata dibandingkan dengan alternator satu fasa. Terdapat dua metode penyambungan kumparan medan yaitu sambungan delta dan sambungan bintang (Y) yang lebih sering digunakan. Metode penyearahan yang digunakan pada alternator 3 fasa dapat dilihat pada gambar 2.13



Gambar 2.12 Prinsip kerja alternator



Gambar 2.13 Metode penyearahan alternator 3 fasa

Tegangan dan arus bolak-balik (AC) yang dihasilkan oleh generator umumnya mempunyai frekuensi diantara 50 Hz – 60 Hz. Besar tegangan listrik yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kecepatan putar rotor dan besar arus listrik yang diberikan ke kumparan rotor untuk menghasilkan medan magnet. Untuk menjaga agar tegangan yang dihasilkan alternator tetap konstan maka pada alternator biasanya dilengkapi dengan alat pengatur tegangan (*Voltage Regulator*).

2.5 Hukum Pascal

Sistem hidrolik menggunakan prinsip Pascal (1653) yang menyatakan bahwa tekanan yang bekerja pada setiap bagian gas atau fluida pada ruang tertutup akan merambat kebagian lain dalam ruangan tertutup ini dengan kekuatan yang sama, secara matematis dinyatakan:

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.17)$$

Keterangan:

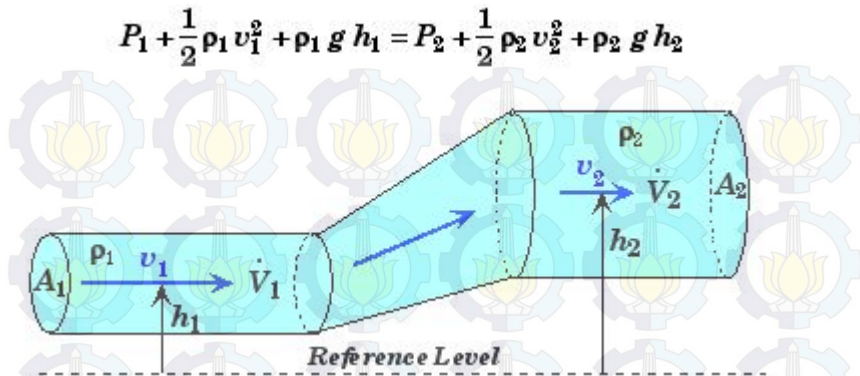
P = Tekanan (Pa)

F = Gaya yang bekerja (N)

A = Luas penampang yang menerima tekanan (m²)

2.6 Hukum Bernoulli

Hukum Bernoulli menyatakan bahwa tekanan dari fluida yang bergerak seperti udara berkurang ketika fluida tersebut bergerak lebih cepat. Hukum Bernoulli ditemukan oleh Daniel Bernoulli, seorang matematikawan swiss yang menemukannya pada tahun 1700. Bernoulli menggunakan dasar matematika untuk merumuskan hukumnya. Berikut ialah rumus dasar dari hukum Bernoulli:



Gambar 2.14 Penerapan hukum Bernoulli pada penampang ^[8]

Jika losses juga diperhitungkan maka persamaan di atas menjadi:

$$\frac{P_1}{\rho} + \alpha \frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{P_2}{\rho} + \alpha \frac{v_2^2}{2} + gh_2 + h_T \quad (2.18)$$

Keterangan:

P = Tekanan (Pa)

V = Kecepatan (m/s)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

h = Ketinggian (m)

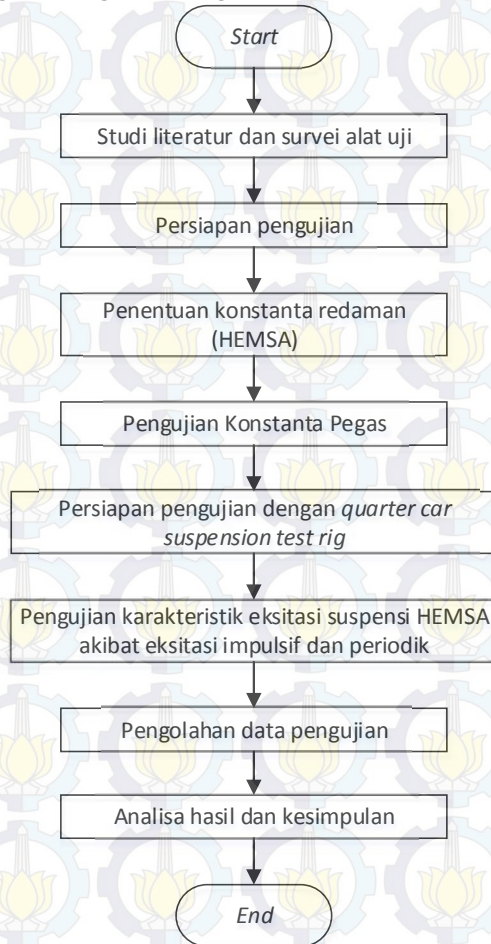
g = Percepatan gravitasi (m/s²)

h_T = Head loss total.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

Tahapan-tahapan pengujian HEMSA dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:



Gambar 3.1 *Flowchart* Pengujian

3.1.1 Studi Literatur dan survei alat uji

Studi literatur ini dilakukan agar dapat menambah wawasan, pengetahuan penulis terhadap materi yang akan dibahas pada tugas akhir ini. Pada tahap studi literatur penulis melakukan kajian dan mengambil beberapa teori penunjang dari buku-buku, artikel, jurnal ilmiah, dan tugas akhir terdahulu. Diharapkan dari hasil studi literatur ini, penulis dapat menganalisa hasil dari pengujian yang dilakukan.

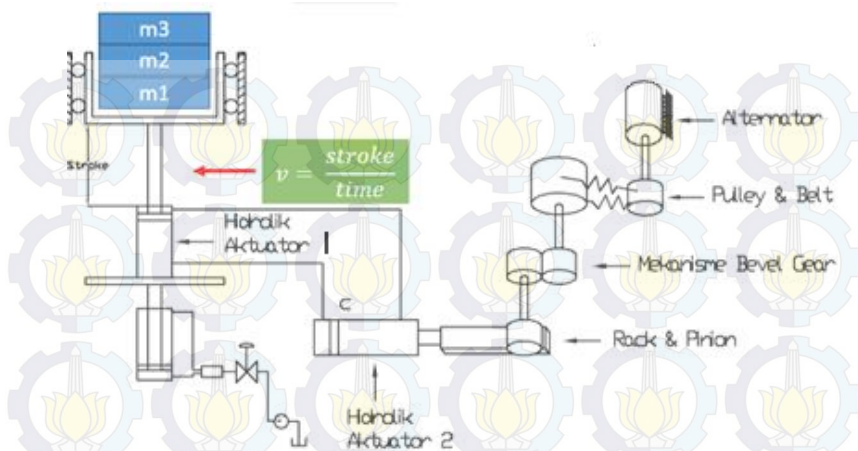
Tahap survei alat ini berfungsi untuk menentukan dimensi, massa uji, exciter yang akan digunakan pada pengujian. Alat uji yang digunakan adalah *quarter car suspension test rig* di Laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi Teknik Mesin ITS.

3.1.2 Persiapan Pengujian

Tahap persiapan pengujian yaitu berupa penyiapan alat uji, pemasangan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) pada alat uji, *set up* alat uji untuk setiap jenis pengujian.

3.1.3 Penentuan Konstanta Redaman *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber*

Penentuan konstanta redaman *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) adalah dengan pengujian gaya redaman. Pada kasus ini, pengujian gaya redaman yang dilakukan adalah uji statis (metode pembebanan). Dengan menggunakan pendekatan hukum ke-tiga Newton, yaitu dengan memberikan massa uji kepada HEMSA (*hydraulic actuator* 1 sebagai *absorber*) pada *quarter car suspension test rig*, diasumsikan dimana nilai gaya redaman HEMSA akan sama dengan gaya berat dari massa uji yang diberikan. Pada pengujian ini hanya dilakukan untuk mengetahui kecepatan turun *hydraulic actuator* 1 saat *compression* dan *rebound*. Berikut gambar skema pengujian statis:



Gambar 3.2 Skema Uji Statis

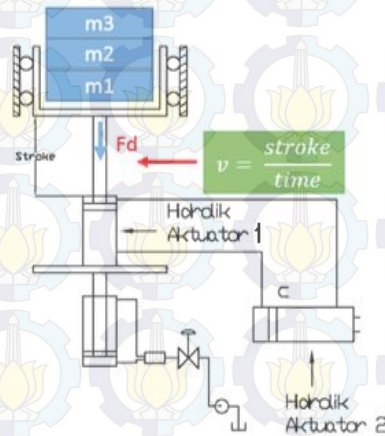
Pengujian gaya redaman dilakukan dengan cara memberikan massa uji yang bervariasi pada *quarter car suspension test rig*, massa uji tersebut akan mendorong *hydraulic actuator 1* dari posisi titik mati atas (*full stroke*) sampai titik mati bawah (*retrack*). Pada kondisi awal *piston rod hydraulic actuator 1* dikondisikan pada titik mati atas. Jarak titik mati atas ke titik mati bawah diukur dan dicatat waktu tempuhnya kemudian dikonversi, sehingga didapatkan kecepatan. Pengujian ini dilakukan pada berbagai variasi dari massa uji dan pembebanan.

Pada uji statis ini terbagi empat macam pengujian, yaitu pengujian *viscous damping (hydraulic)*, *viscous + friction damping (hydraulic + mechanic)*, *viscous + friction + electric damping (hydraulic + mechanic + electromagnetic)*, *viscous + friction + electric damping* tanpa beban, dan *viscous + friction + electric damping* dengan beban akumulator. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai distribusi konstanta redaman terhadap pengaruh pembebanan dan komponen HEMSA (*viscous, friction, electric damping*). Hasil pengujian ditampilkan kedalam bentuk grafik gaya redaman fungsi kecepatan. Dari grafik tersebut,

kemudian dilakukan perhitungan dari *trendline* distribusi gaya redaman fungsi kecepatan untuk mendapatkan nilai redaman (c).

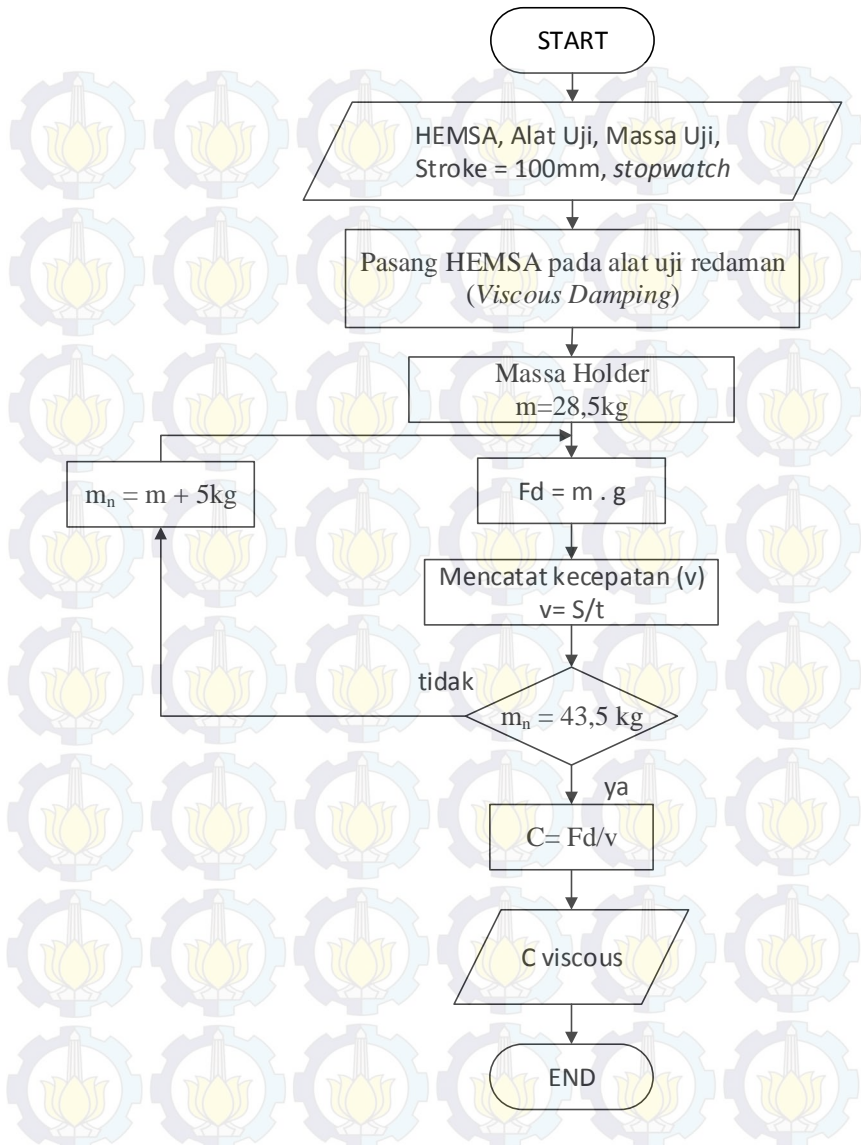
1. Mekanisme penentuan konstanta redaman *viscous damping*.

Perhitungan nilai gaya redaman pada *viscous damping* adalah dengan menghubungkan *Hydraulic Actuator 1* dan *Hydraulic Actuator 2* dengan memvariasikan beberapa beban agar didapat nilai grafik $c = f(m_1, m_2, m_3)$, sehingga akan didapat nilai gaya redaman *viscous damping*.



Gambar 3.3 Skema pengujian *viscous damping*.

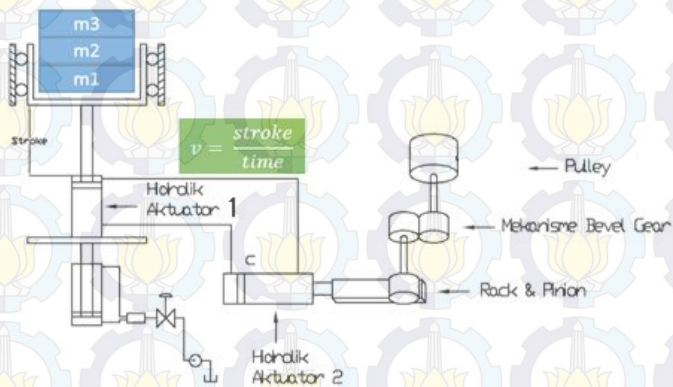
Berikut *Flowchart* penentuan konstanta redaman *viscous damping*:



Gambar 3.4 Flowchart penentuan konstanta redaman *viscous damping*.

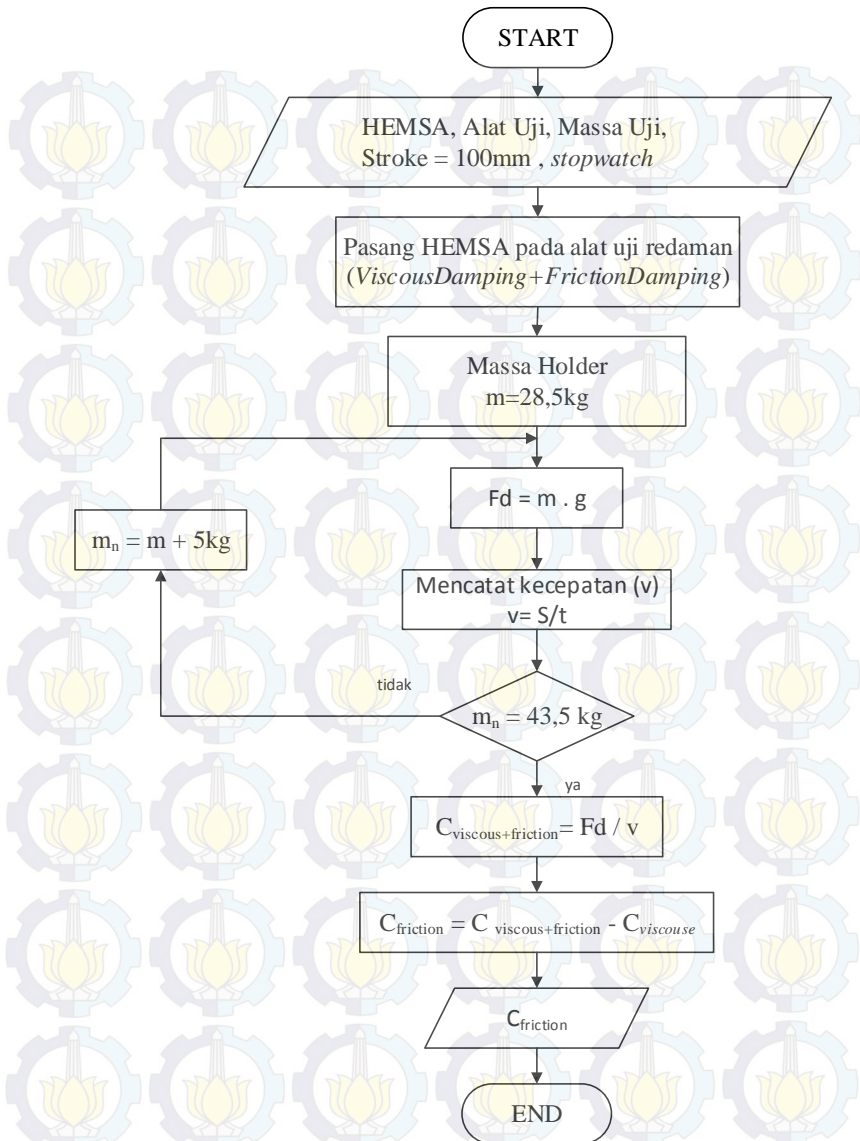
2. Mekanisme penentuan konstanta redaman *viscous + friction damping*.

Perhitungan nilai gaya redaman pada *viscous + friction damping* adalah dengan menghubungkan *Hydraulic Actuator 1*, *Hydraulic Actuator 2*, *rack & pinion*, mekanisme *bevel gear & pulley* dengan memvariasikan beberapa beban agar didapat nilai grafik $C_{\text{viscous+friction}} = f(m_1, m_2, m_3)$, sehingga $C_{\text{friction}} = C_{\text{viscous+friction}} - C_{\text{viscous}}$.



Gambar 3.5 Skema pengujian *viscous + friction damping*.

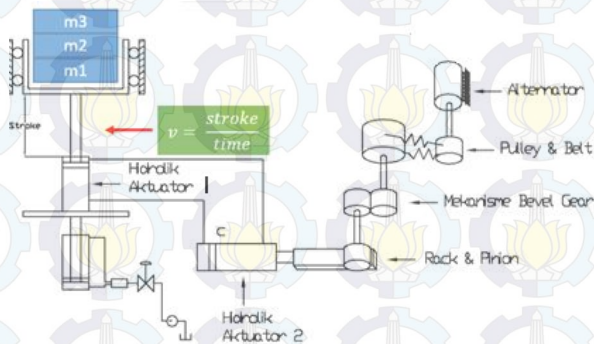
Berikut *flowchart* penentuan konstanta redaman *viscous + friction damping*:



Gambar 3.6 *Flowchart* penentuan konstanta redaman *viscous + friction damping*.

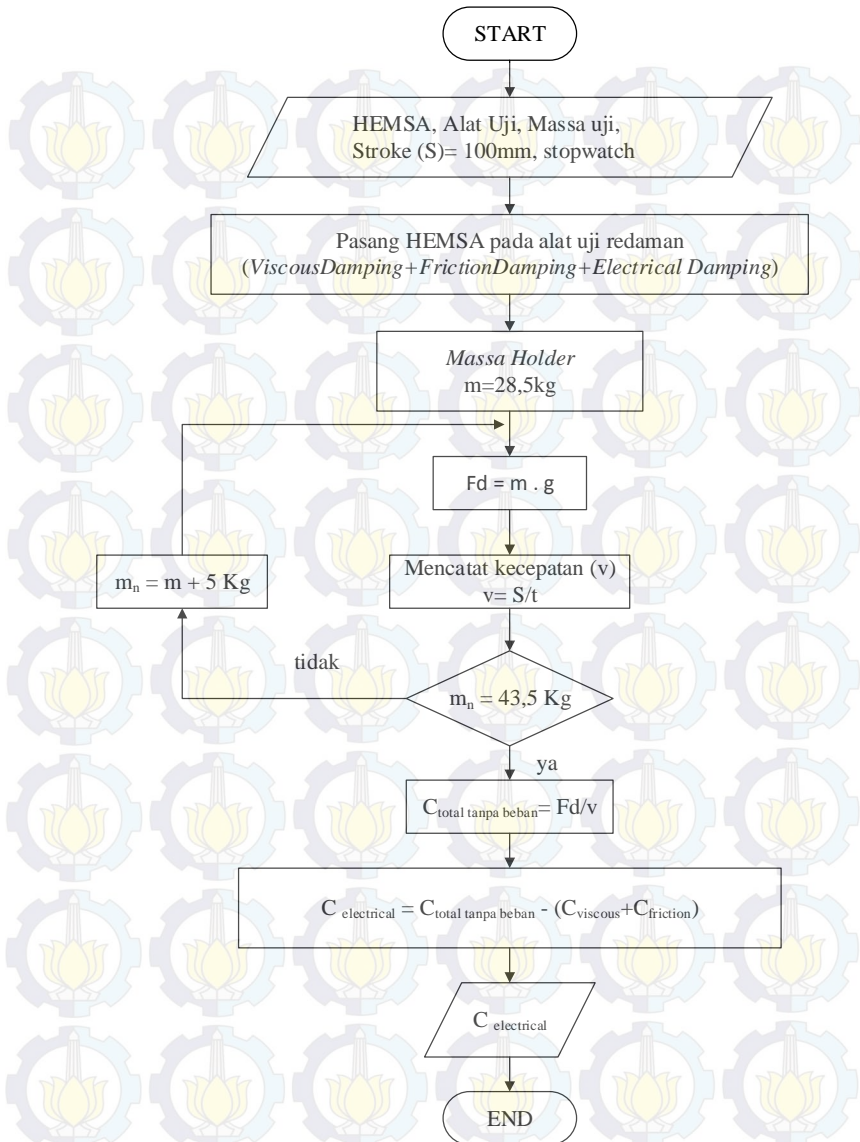
3. Mekanisme penentuan konstanta redaman *viscous + friction + electric damping* tanpa pembebanan.

Perhitungan nilai gaya redaman pada *electrical damping* tanpa pembebanan adalah dengan menghubungkan *Hydraulic Actuator 1*, *Hydraulic Actuator 2*, *rack & pinion*, mekanisme *bevel gear*, *pulley & belt*, generator dengan memvariasikan beberapa beban didapat nilai grafik $C_{\text{viscous}+\text{friction}+\text{electric}} \text{ tanpa beban} = f(m_1, m_2, m_3)$, sehingga $C_{\text{electric}} \text{ tanpa beban} = C_{\text{viscous}+\text{friction}+\text{electric}} \text{ tanpa beban} - C_{\text{viscous}} - C_{\text{friction}}$



Gambar 3.7 Skema pengujian *viscous + friction + electric damping* tanpa pembebanan.

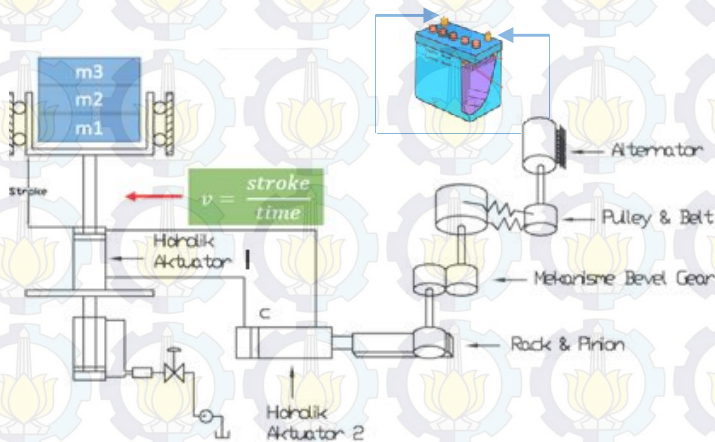
Berikut *flowchart* penentuan konstanta redaman *viscous + friction + electric damping* tanpa pembebanan.



Gambar 3.8 Flowchart penentuan konstanta redaman viscous + friction + electric damping tanpa pembebanan.

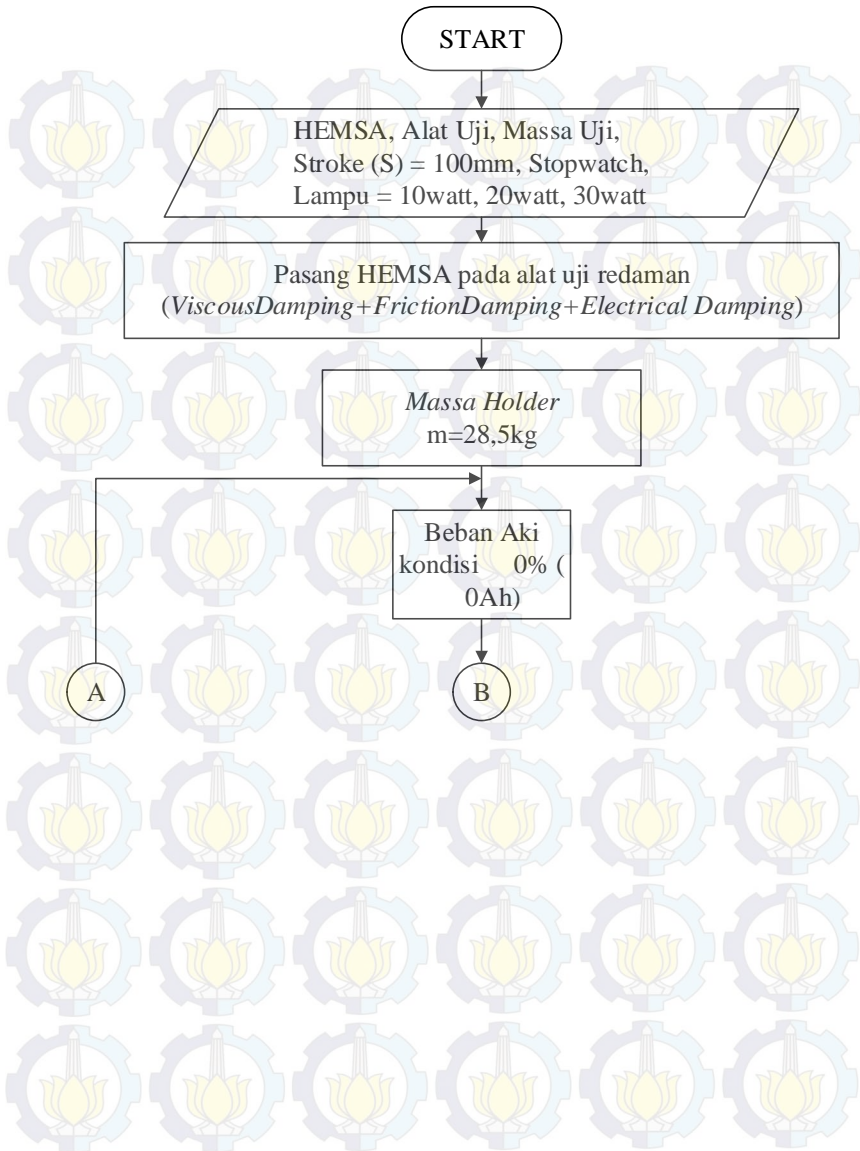
4. Mekanisme penentuan konstanta redaman *viscous + friction* + *electric damping* dengan pembebanan aki.

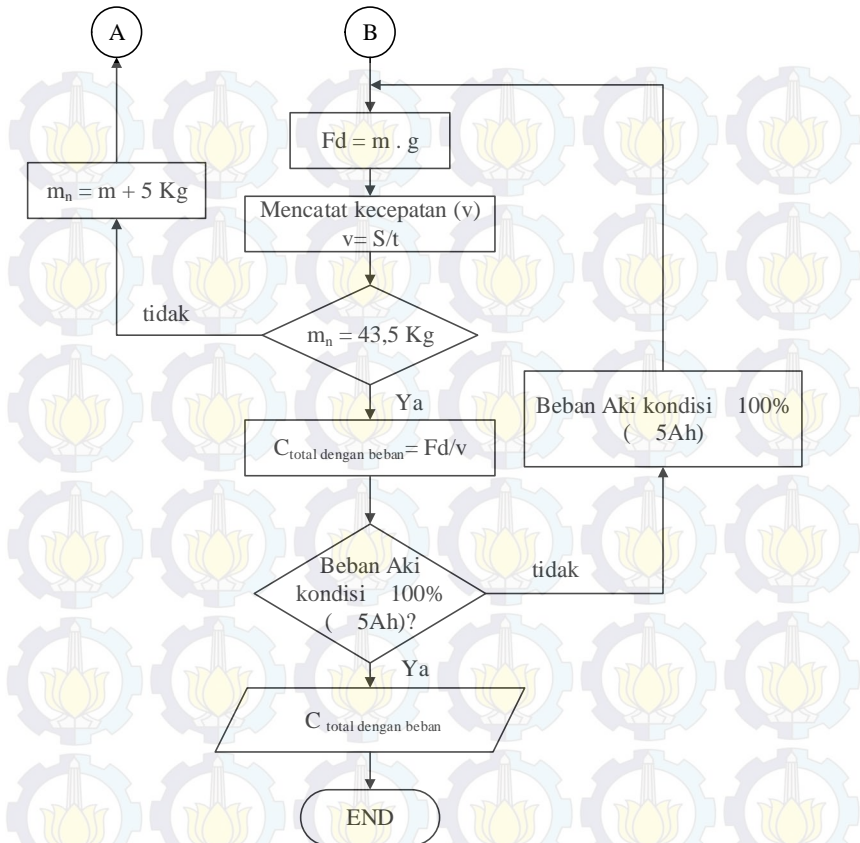
Perhitungan nilai gaya redaman pada *electric damping* dengan pembebanan aki adalah dengan menghubungkan *Hydraulic Actuator 1*, *Hydraulic Actuator 2*, rack & pinion, mekanisme *bevel gear*, *pulley*, *belt*, generator, variasi beban aki (0 Ah, $\pm 2,5$ Ah, 5 Ah) dengan memvariasikan beberapa beban agar didapat nilai grafik C_{total} dengan beban = $f(m_1, m_2, m_3)$.



Gambar 3.9 Skema pengujian konstanta redaman *viscous + friction* + *electric damping* dengan pembebanan aki.

Berikut *flowchart* penentuan konstanta redaman *viscous + friction* + *electric damping* dengan pembebanan aki.

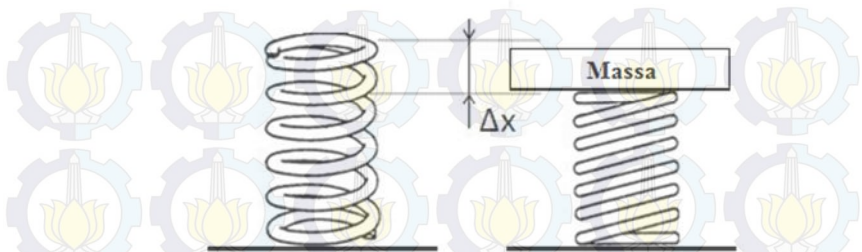




Gambar 3.10 Flowchart penentuan konstanta redaman *viscous + friction + electric damping* dengan pembebanan aki

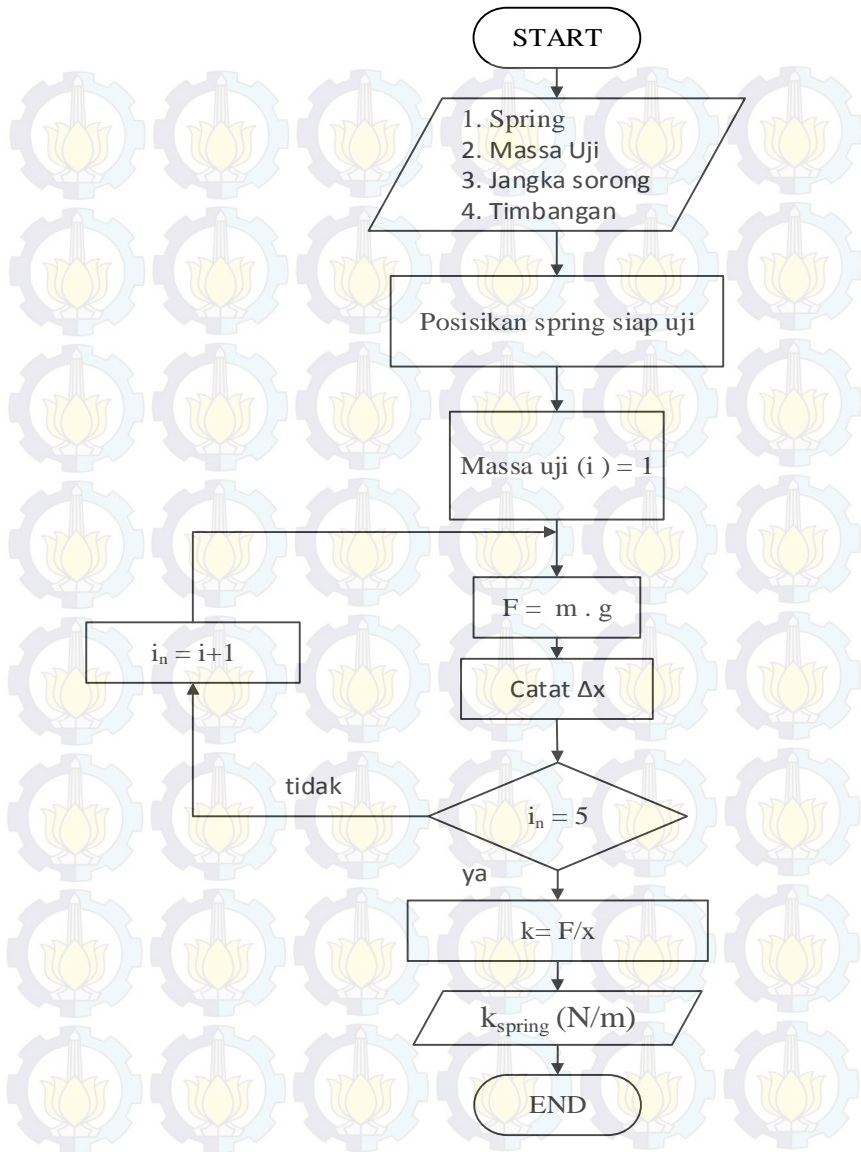
3.1.4 Pengujian Konstanta Pegas

Pengujian konstanta dilakukan dengan memberikan massa penekanan pada *spring* kemudian dicatat perubahan panjang pada *spring* (x). Dari data yang diperoleh akan dihitung nilai konstanta pegas (k) sesuai dengan Hukum Hooke, yaitu $F = k \cdot x$.



Gambar 3.11 Skema pengujian konstanta pegas

Berikut adalah *flowchart* pengujian konstanta pegas:



Gambar 3.12 *Flowchart* pengujian konstanta pegas.

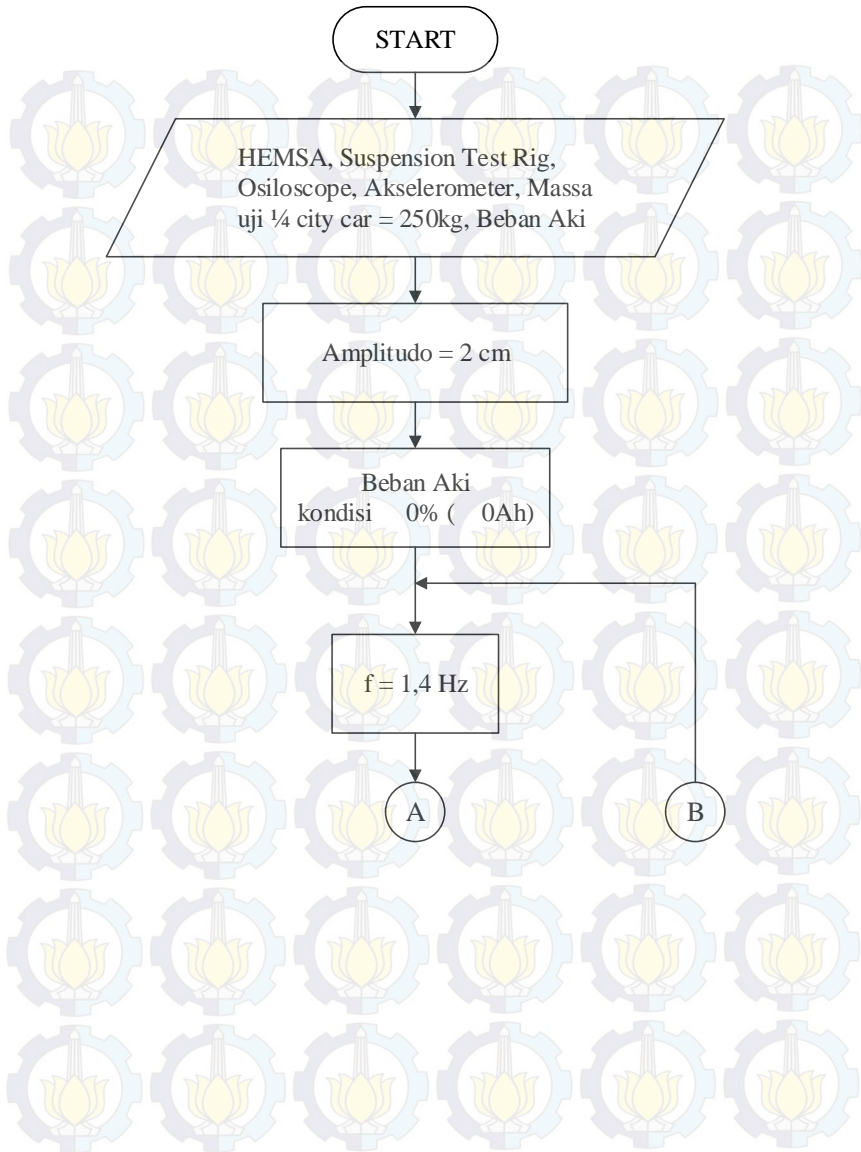
3.1.5 Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA Akibat Eksitasi Impuls dan Periodik

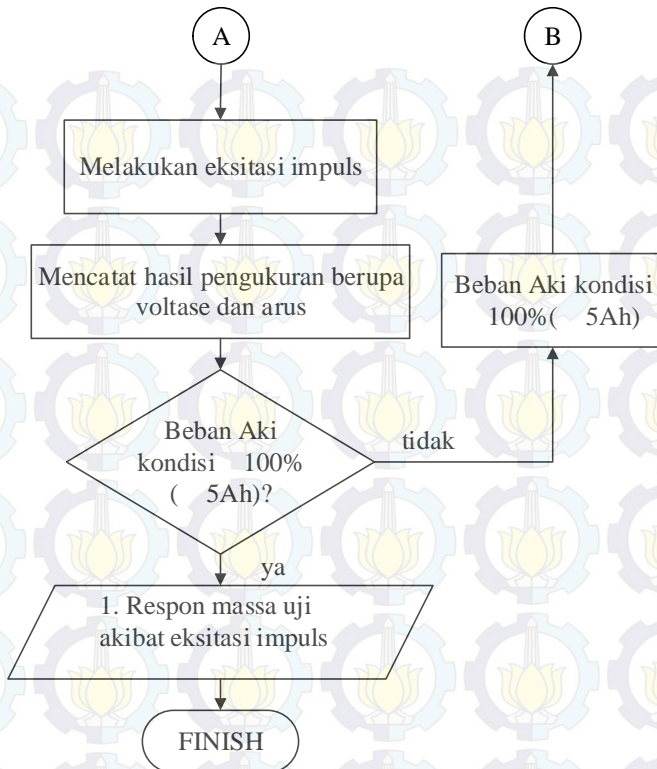
Pada tahapan pengujian mekanisme ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari suspensi ketika mendapat berbagai macam gaya eksitasi dan amplitudo terhadap energi. Dari pengujian ini didapatkan respon massa, voltase, dan daya pada masing-masing pengujian.

Uji mekanisme *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) dilakukan dengan 2 metode, yaitu sebagai berikut:

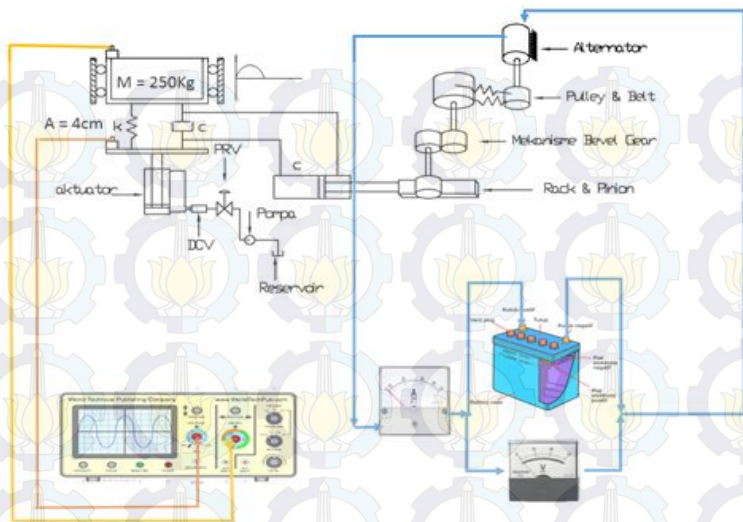
1. Eksitasi impuls
 - a. Input pada pengujian tersebut berupa eksitasi impuls.
 - b. Massa uji yang digunakan adalah massa $\frac{1}{4}$ dari kendaraan sebenarnya (*city car*), yaitu 250 kg.
 - c. Terdapat amplitudo pada pengujian yaitu $A = 2$ cm.
 - d. Menganalisa respon massa uji (*sprung mass*) dan landasan (*base exciter*) pada akibat dari eksitasi yang diberikan.
 - e. Menganalisa *damping ratio* model suspensi dengan nilai *damping ratio* pada kendaraan roda empat.

Berikut adalah *flowchart*nya:





Gambar 3.13 *Flowchart* pengujian HEMSA untuk eksitasi impuls

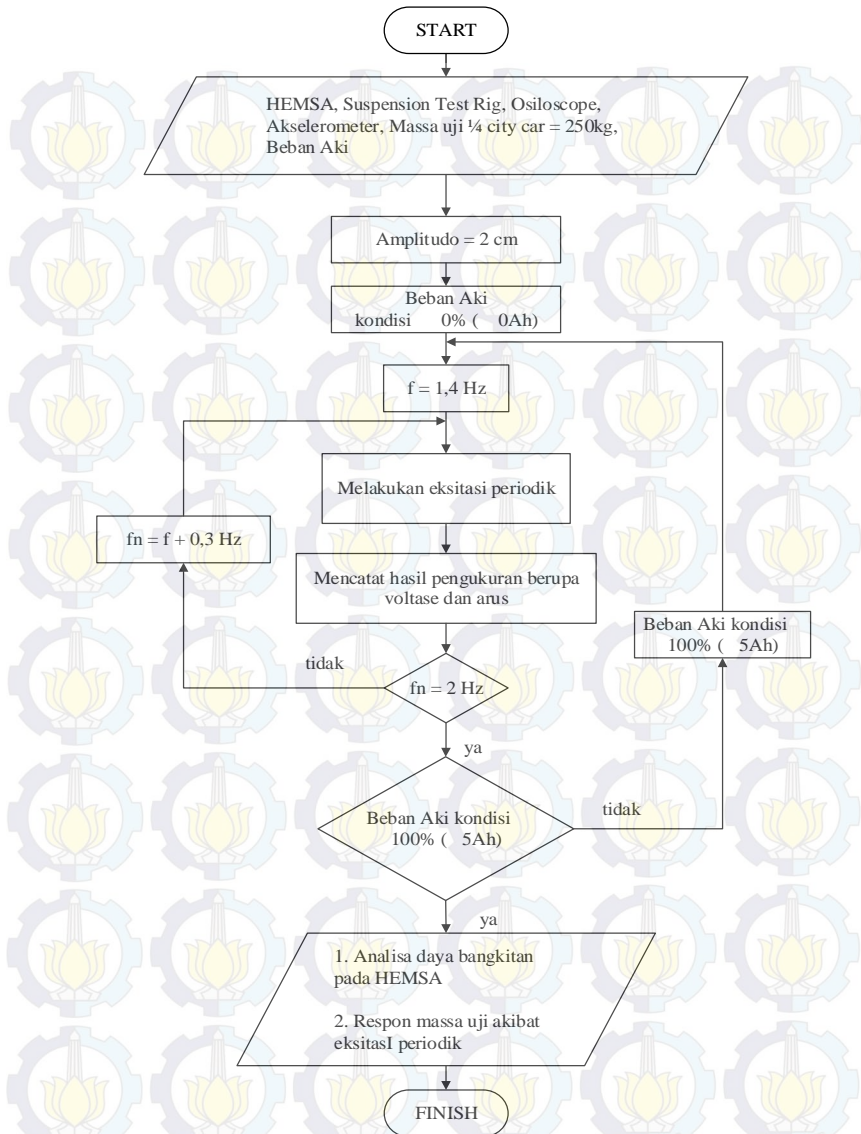


Gambar 3.14 Skema pengujian HEMSA untuk eksitasi impuls

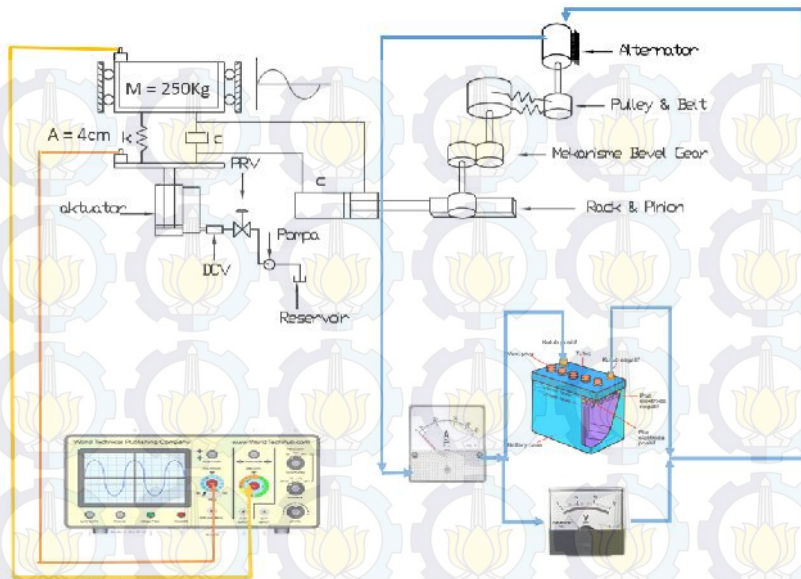
2. Eksitasi Periodik

- Input pada pengujian tersebut berupa eksitasi periodik.
- Massa uji yang digunakan adalah massa $\frac{1}{4}$ dari kendaraan sebenarnya (*city car*), yaitu 250 kg.
- Terdapat amplitudo pada pengujian yaitu $A = 2$ cm. Pada amplitudo tersebut terdapat kecepatan eksitasi yang bervariasi.
- Frekuensi eksitasi yang diberikan yaitu: 1.4 Hz, 1.7 Hz, dan 2 Hz.
- Mencatat arus induksi dan voltase bangkitan yang dihasilkan pada HEMSA.
- Membuat grafik daya bangkitan fungsi frekuensi dari suspensi tersebut.
- Menganalisa respon massa uji (*sprung mass*) dan landasan (*base exciter*) pada akibat dari eksitasi yang diberikan.

Berikut adalah *flowchart*nya:



Gambar 3.15 Flowchart pengujian HEMSA untuk eksitasi periodik



Gambar 3.16 Skema pengujian HEMSA untuk eksitasi periodik

3.1.6 Pengolahan Data Pengujian

Data yang diperoleh dari hasil pengujian diolah sehingga hasil pengujian ditunjukkan dalam grafik gaya redaman fungsi kecepatan, energi yang dibangkitkan, transmissibilitas, efisiensi, dan grafik respon massa terhadap eksitasi yang diberikan.

3.2 Peralatan yang digunakan

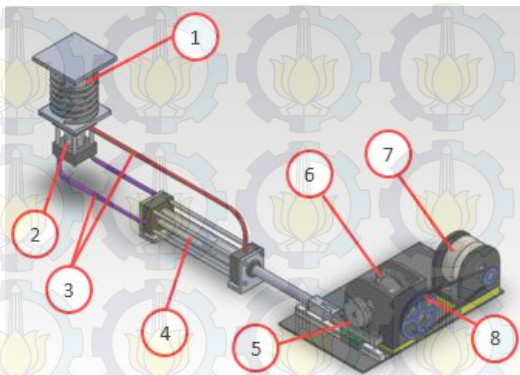
3.2.1 Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA)

HEMSA merupakan suatu alat ini memanfaatkan gerak translasi pada sistem suspensi berupa *Hydraulic Actuator 1* sebagai *absorber*, yang akan mendistribusikan aliran fluida ke *Hydraulic Actuator 2* sebagai aktuator. Gerak translasi aktuator akan dikonversi menjadi gerak rotasi dengan menggunakan mekanisme *rack and pinion gear*, kemudian gerak rotasi diteruskan oleh *gearbox* yang di dalamnya terdapat *bevel gear* dan menggunakan *one-way bearing* untuk membuat putaran yang searah. Kemudian,

putaran dari *gearbox* tersebut nantinya akan disambungkan dengan *pulley* dan *belt* menuju generator yang berfungsi untuk menghasilkan energi listrik.

Tabel 3.1 Spesifikasi HEMSA dua selang *compression* satu *rebound*

Parameter	Nilai
Diamater dalam <i>Hydraulic actuator</i> 1 (absorber)	40 mm
Diamater dalam <i>Hydraulic actuator</i> 2 (actuator)	40 mm
Diameter rod absorber	25 mm
Diameter rod actuator	25 mm
Jenis fluida	SAE 10W
Diameter dalam selang	9,525mm (3/8 inch)



Keterangan Gambar:

1. *Spring*
2. *Hydraulic Actuator* 1
3. *Selang Hydraulic*
4. *Hydraulic Actuator* 2
5. *Rack & Pinion*
6. *One way bearing & Bevel Gear*
7. *Generator*
8. *Belt & Pulley*

Gambar 3.17 *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA)

3.2.2 Suspension test rig

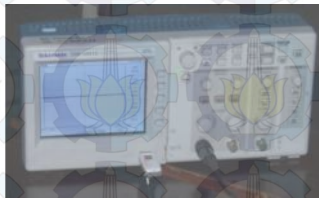
Suspension test rig digunakan untuk melakukan studi eksperimen karakteristik HEMSA, damping, dan spring. Suspension test rig tersebut dirancang dan didesain oleh mahasiswa ITS melalui project tugas akhir. Model pengujian dari alat ini adalah *quarter model*, dimana pada suspensi yang diuji merepresentasikan $\frac{1}{4}$ massa kendaraan.



Gambar 3.18 *Suspension test rig*

3.2.3 Oscilloscope

Oscilloscope adalah alat yang dapat menunjukkan grafik sinusoidal voltase bangkitan dari sebuah sistem yang telah dihubungkan sebelumnya. Alat ini dihubungkan dengan HEMSA untuk mengetahui dan mencatat voltase bangkitan dari alat tersebut.



Gambar 3.19 *Oscilloscope*

3.2.4 Accumulator

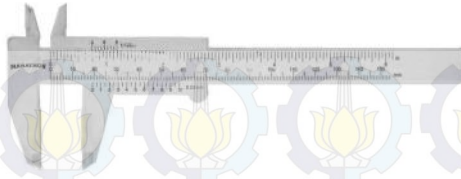
Accumulator atau yang sering disebut aki adalah sebuah elemen volta elektronika yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik. Namun pada penelitian ini, aki direpresentasikan sebagai beban hambatan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kondisi aki terhadap distribusi gaya redaman dan mendapatkan nilai voltase baru dari HEMSA, yang kemudian diolah untuk mendapatkan besar arus listrik (I) dalam satuan ampere. Arus listrik tersebut dibutuhkan untuk mendapatkan daya yang dihasilkan oleh HEMSA dalam Watt.



Gambar 3.20 *Accumulator*

3.2.5 Jangka Sorong

Jangka sorong adalah alat ukur yang ketelitiannya dapat mencapai seperseratus milimeter. Jangka sorong mempunyai dua rahang, yaitu rahang tetap dan rahang sorong. Pada rahang tetap terdapat skala utama dan pada rahang sorong terdapat skala nonius atau skala vernier. Skala nonius ini panjangnya 9 mm yang terbagi menjadi 10 skala dengan tingkat ketelitian 0,1 mm.



Gambar 3.21 Jangka Sorong

3.2.6 Stopwatch

Stopwatch adalah alat untuk mengukur waktu dalam satuan sekon. Pada penelitian ini stopwatch digunakan sebagai timer ketika HEMSA diberikan eksitasi selama waktu tertentu.



Gambar 3.22 Stopwatch

3.2.7 Akselerometer

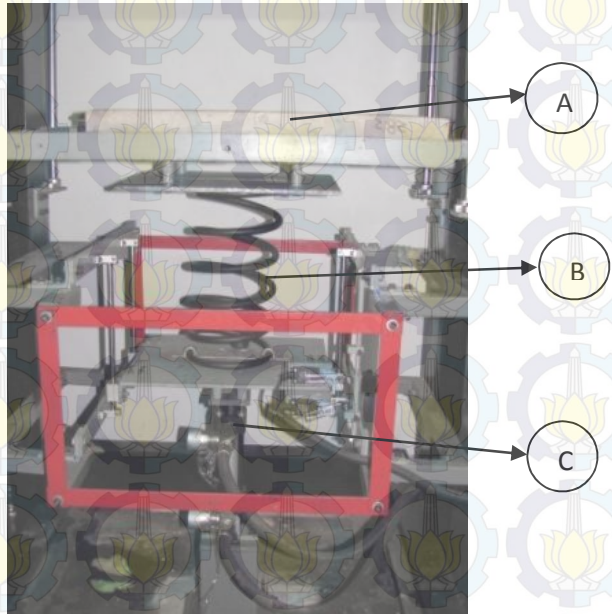
Akselerometer adalah sebuah transducer yang berfungsi untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran, ataupun untuk mengukur percepatan akibat gravitasi bumi. Akselerometer juga dapat digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi pada kendaraan, bangunan, mesin, dan juga bisa digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi di dalam bumi, getaran mesin, jarak yang dinamis, dan kecepatan dengan ataupun tanpa pengaruh gravitasi bumi.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan konstanta pegas

4.1.1 Prinsip kerja

Pengambilan data konstanta pegas ini dilakukan di Laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi Teknik Mesin ITS. Adapun prinsip kerja dari pengambilan data tersebut adalah dengan memasang pegas pada alat uji *Suspension test rig* terlebih dahulu, kemudian diberikan gaya dalam bentuk beban (W) di atas pegas. Setelah itu, diukur perubahan panjang (x) pada pegas tersebut.



Gambar 4.1 (a). Beban yang divariasikan (b). Pegas (c).
Suspension test rig

4.1.2 Hasil Pengujian Konstanta Pegas

Pengambilan data konstanta pegas dilakukan berdasarkan *range* $\frac{1}{4}$ massa kendaraan, yaitu ± 250 kg. Berikut adalah data hasil pengujian konstanta pegas:

Tabel 4.1 Pengujian Konstanta Pegas

No.	Massa(kg)	W(N)	$\Delta W(N)$	X(m)	$\Delta X(m)$	K(N/m)
1	0	0	0	0.31	0	0
2	217.9	-2137.6	-2137.6	0.260	-0.05	42752
3	227.9	-2235.7	-98.1	0.258	-0.052	42994
4	237.9	-2333.8	-98.1	0.257	-0.053	44034
5	247.9	-2431.9	-98.1	0.255	-0.055	44216
6	257.9	-2530.0	-98.1	0.253	-0.057	44386
7	267.9	-2628.1	-98.1	0.251	-0.059	44544
8	277.9	-2726.2	-98.1	0.250	-0.06	45437
9	277.9	2726.2	0.0	0.250	0.060	45437
10	267.9	2628.1	98.1	0.251	0.059	44544
11	257.9	2530.0	98.1	0.252	0.058	43621
12	247.9	2431.9	98.1	0.255	0.055	44216
13	237.9	2333.8	98.1	0.258	0.052	44881
14	227.9	2235.7	98.1	0.260	0.050	44714
15	217.9	2137.6	98.1	0.262	0.048	44533
16	0	0	0	0.31	0	0
RATA-RATA						44308

Untuk dapat menentukan konstanta pegas pada pengambilan data dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Dengan menggunakan rumus Hukum Hooke:

$$F = k \cdot X \quad \text{atau} \quad W = k \cdot X$$

Dari data percobaan yang telah dilakukan untuk mengetahui konstanta pegas dapat dihitung pada contoh perhitungan dibawah ini:

Contoh perhitungan untuk mendapatkan nilai dari table 4.1

1. Perubahan Gaya Beban

$$F = W$$

$$W_2 - W_1 = (217.9 \times 9.81)N - 0 = 2137.6 \text{ N}$$

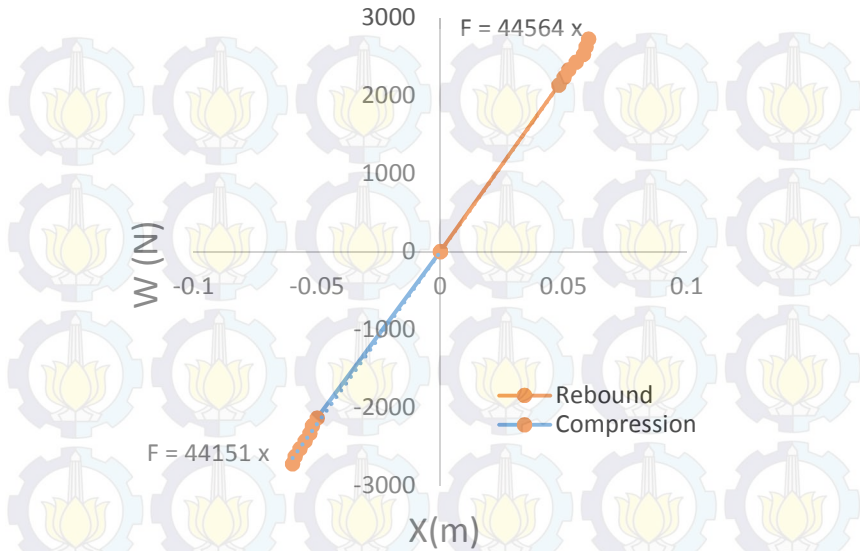
2. Perubahan Panjang Pegas

$$\Delta X = X_2 - X_1 = [(310-260)/1000] \text{ m} - 0 = 0.05 \text{ m}$$

Jadi,

$$k = \frac{\Delta W}{\Delta X} = \frac{2137.6}{0.05} = 42752 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Dari perhitungan penentuan konstanta pegas, pada variasi pembebanan pegas dilakukan secara terbalik untuk mengetahui defleksi kompresi dan rebound dari pegas. Hasil dari perhitungan kemudian dituangkan kedalam grafik kompresi dan rebound dari pegas. Berikut adalah grafik nilai konstanta pegas.



Gambar 4.2 Grafik Nilai Konstanta Pegas

Dari grafik pada gambar 4.2 dan tabel 4.1 di atas, dapat kita lihat bahwa dengan beban sebesar 2137.6 N didapatkan perubahan panjang sebesar 0.05 m, sedangkan pada beban sebesar 2431.9 N didapatkan perubahan panjang sebesar 0.055 m.

Dari grafik dan tabel tersebut dapat kita simpulkan bahwa semakin tinggi beban yang digunakan maka semakin tinggi pula perubahan panjang yang dihasilkan pada pegas tersebut. Sesuai dengan hukum Hooke, dimana $F = k \cdot x$. Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat grafik pada gambar 4.2 di atas bahwa garis hampir terlihat lurus atau mendekati linier.

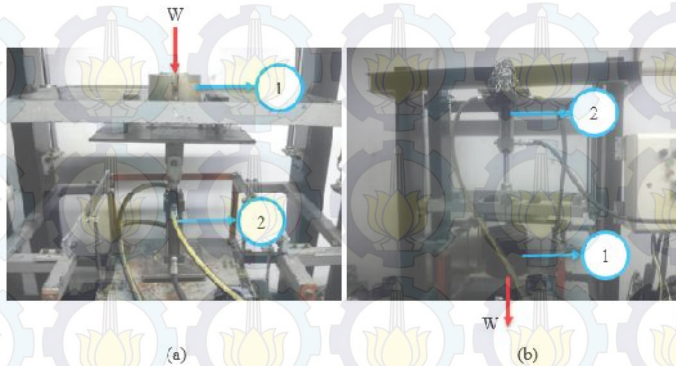
Sehingga pemilihan nilai konstanta pegas HEMSA pada pengujian mekanisme suspensi yang dilakukan di laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi dipilih berdasarkan dimensi pegas yang tersedia dan dapat dipasang dengan *Absorber* hasil rancangan (HEMSA). Sehingga dapat diuji pada *suspension tes rig* (simulasi 1/4 kendaraan). Jadi dari pengujian nilai konstanta pegas, yang

merupakan nilai rata-rata *trendline* konstanta pegas saat kompresi dan *rebound*, didapat nilai K sebesar **44357.5 N/m**.

4.2 Penentuan Konstanta Redaman

Penentuan konstanta redaman *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) adalah dengan pengujian gaya redaman. Pada kasus ini, pengujian gaya redaman yang dilakukan adalah dengan menggunakan metode pembebanan, yang artinya adalah memberikan beban berupa massa uji bervariasi, untuk mengetahui kecepatan turun dari *absorber*. Pengujian gaya redaman yang dilakukan yaitu, gaya redaman HEMSA tanpa pembebanan dan gaya redaman HEMSA dengan pembebanan akumulator.

Metode pengujian gaya redaman yang dilakukan adalah metode pembebanan (uji statis). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan turun absorber saat kompresi dan *rebound*. Dari kecepatan dan berat massa dapat diperoleh nilai konstanta redaman, dari persamaan $F_d = c V$.



Keterangan gambar:

1. Beban
2. HEMSA

Gambar 4.3 (a) pengujian *compression*, (b) pengujian *rebound*

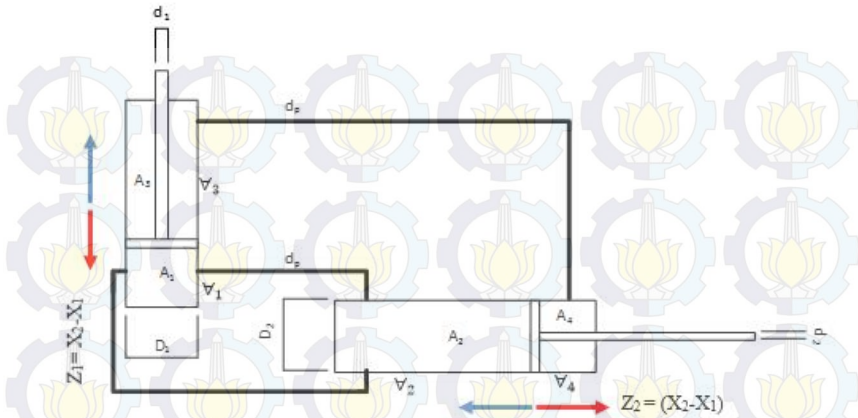
4.2.1 Penentuan Konstanta Redaman HEMSA tanpa pembebanan

4.2.1.1 Konstanta Redaman *Hydraulic (viscous damping)*

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kontribusi nilai konstanta redaman dari komponen *Hydraulic* pada HEMSA. Pada pengujian *viscous damping* ini, juga untuk mengetahui pengaruh jumlah *port* (selang) yang dipasang pada HEMSA terhadap gaya redaman yang dihasilkan.

Prinsip kerja dari komponen *hydraulic* pada HEMSA ini adalah sebagai peredam sekaligus pendorong mekanisme *gearbox*, meliputi *rack pinion*, *bevel gear*, *pulley* dan *belt*. Mekanisme *hydraulic* ini terdiri dari dua *cylinder hydraulic*. Dimana, *cylinder hydraulic* pertama berfungsi sebagai absorber dan *cylinder hydraulic* kedua sebagai pendorong yang dihubungkan ke mekanisme *rack pinion* yang meneruskan gaya ke susunan gear pada HEMSA.

Dengan memvariasikan jumlah *port* (selang) bertujuan untuk mendapatkan gaya redaman yang berbeda ketika *absorber* bergerak naik-turun, baik saat *compression* maupun *rebound*. Jumlah *port* yang digunakan pada penelitian ini yaitu: dua selang *compression* dan satu selang *rebound*. Berikut adalah gambar skema mekanisme *hydraulic* dua selang *compression* satu *rebound*:



Gambar 4.4 Skema mekanisme *hydraulic* pada HEMSA

Pengaruh jumlah selang pada proses *compression* dan *rebound* dapat dicari dengan menggunakan persamaan Konservasi Massa dan dengan asumsi bahwa fluida kerja merupakan *incompressible fluid*, maka dapat dicari nilai kecepatan di tiap kondisi.

$$\int_{cs} \rho V dA = 0$$

$$Q_1 = Q_p$$

$$A_1 V_1 = A_p V_p$$

Dari persamaan di atas dicoba didekati dengan membuat kecepatan aliran pada saat proses *compression* dan *rebound* sama besar. Mekanisme yang digunakan adalah mekanisme *hydraulic* sehingga digunakan persamaan Bernoulli berikut:

$$\frac{p_1}{\rho} + \alpha \frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{p_p}{\rho} + \alpha \frac{v_p^2}{2} + gh_p + h_T$$

dimana:

$$h_T = h_l + h_{lm}$$

$$h_l = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2}$$

$$h_{l_m} = K \frac{v^2}{2}$$

- Proses *compression* →

$$A_1 V_1 = 2A_{pc} V_{pc}$$

$$V_{pc} = \frac{A_1 V_1}{2A_{pc}}$$

$$V_{pc} = \frac{\frac{1}{4} \pi D_1^2 V_1}{2(\frac{1}{4} \pi d_p^2)}$$

$$\frac{P_1}{\rho} + \alpha \frac{V_1^2}{2} + gh_1 = \frac{P_{pc}}{\rho} + \alpha \frac{V_{pc}^2}{2} + gh_p + h_T$$

Persamaan gaya:

$$F_{h1} = P_1 A_1$$

$$F_{hpc} = P_{pc} A_{pc}$$

Dengan asumsi energi potensial diabaikan, Sehingga didapatkan

$$\frac{F_{h1}}{A_1} + \rho \alpha \frac{V_1^2}{2} = \frac{F_{hpc}}{A_{pc}} + \rho \alpha \frac{V_{pc}^2}{2} + \rho h_{T(\text{compression})}$$

$$\frac{F_{h1}}{A_1} = \frac{F_{hpc}}{2A_{p\text{compression}}} + \rho \alpha \left\{ \frac{(V_{pc}^2 - V_1^2)}{2} \right\} + \rho h_{T(\text{compression})}$$

- Proses *rebound* ←

$$A_3 V_3 = A_p V_{pr}$$

$$V_{pr} = \frac{A_3 V_3}{A_{pr}}$$

$$V_{pr} = \frac{\frac{1}{4} \pi (D_1^2 - d_1^2) V_3}{\frac{1}{4} \pi d_p^2}$$

$$\frac{P_3}{\rho} + \alpha \frac{V_3^2}{2} + gh_3 = \frac{P_{pr}}{\rho} + \alpha \frac{V_{pr}^2}{2} + gh_p + \rho h_{T(\text{rebound})}$$

Dengan asumsi energi potensial diabaikan, Sehingga didapatkan

$$\frac{F_{h3}}{A_3} + \rho\alpha \frac{V_3^2}{2} = \frac{F_{hpr}}{A_p} + \rho\alpha \frac{V_{pr}^2}{2} + \rho h_{T(rebound)}$$

$$\frac{F_{h3}}{A_3} = \frac{F_{hp}}{A_{prebound}} + \rho\alpha \left\{ \frac{(V_{pr}^2 - V_3^2)}{2} \right\} + \rho h_{T(rebound)}$$

Sehingga bisa diamati adanya perbedaan gaya saat proses *compression* dan *rebound*

$$\begin{aligned} V_1 &= V_3 \\ F_{h1} &= F_{h3} \\ \frac{F_{h1}}{A_1} &= \frac{F_{hpc}}{2A_{pcomp}} + \rho\alpha \left\{ \frac{(V_{p(comp)}^2 - V_1^2)}{2} \right\} + \rho h_{T(compression)} \\ \frac{F_{h3}}{A_3} &= \frac{F_{hpr}}{A_{prebound}} + \rho\alpha \left\{ \frac{(V_{p(rebound)}^2 - V_3^2)}{2} \right\} + \rho h_{T(rebound)} \\ F_{hpc} &> F_{hpr} \end{aligned}$$

Dengan membuat kecepatan pada *cylinder hydraulic* 1 (*absorber*) baik proses *compression* dan *rebound* sama dan besar gaya F_{h1} dan F_{h3} sebagai gaya berat yang juga sama akibat variasi massa uji, maka dari persamaan ini didapatkan besar F_{hp} (*Force hydraulic pipe*) saat *compression* lebih besar dari besar F_{hp} (*Force hydraulic pipe*) saat *rebound*. Dimana F_{hp} merupakan gaya dorong yang mampu ditransferkan yang berada di dalam pipa. Variasi jumlah *port* mengakibatkan perbedaan gaya dorong yang terjadi pada komponen *hydraulic* (*viscous damping*).

Secara eksperimen, gaya dorong yang mampu ditransferkan ini mempengaruhi kecepatan turun absorber. Semakin besar semakin cepat absorber turun. Artinya jumlah *port* mempengaruhi kecepatan turun absorber sehingga terjadi perbedaan nilai konstanta redaman baik proses *compression* dan *rebound*.

Berikut berturut-turut tabel hasil pengujian gaya redaman *compression* dan *rebound*:

Tabel 4.2 Uji Konstanta Redaman *Viscous Damping* (*Compression*)

Berat (N)	Kecepatan (m/s)
-279.09	-0.13
-328.14	-0.16
-377.19	-0.20

Tabel 4.3 Uji Konstanta Redaman *Viscous Damping* (*Rebound*)

Berat (N)	Kecepatan (m/s)
245.25	0.09
294.30	0.11
343.35	0.13
392.40	0.14

Untuk mendapatkan nilai konstanta redaman *viscous* saat *compression* dan *rebound* yang telah dituang kedalam tabel di atas dengan dilakukannya perhitungan menggunakan persamaan $F = C.v$ maka $C = F / v$. Dengan contoh perhitungan sebagai berikut:

Diketahui: Stroke = 0.1 m

Beban = 245.25 N

Waktu yang didapat saat pengujian yang = 1.11 s

Maka dapat dihitung kecepatan (v) dengan rumus $v = \text{jarak} / \text{waktu} = 0.1 \text{ m} / 1.11 \text{ s} = 0.09009 \text{ m/s}$

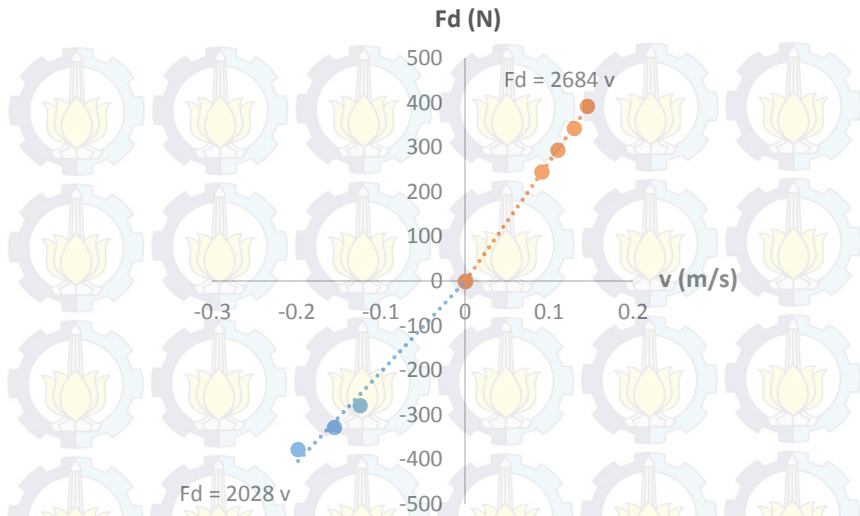
Maka nilai C

$$= F / v$$

$$= 245.25 \text{ N} / 0.09009 \text{ m/s}$$

$$= 2722 \text{ Ns/m}$$

Dari data tabel 4.2 dan 4.3 dituangkan kedalam bentuk grafik gaya redaman fungsi kecepatan, untuk mengetahui distribusi linier dari konstanta redaman *Hydraulic* (*viscous damping*). Berikut adalah grafik konstanta redaman *Hydraulic* (*viscous damping*):



Gambar 4.5 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan *viscous damping*

Pada gambar 4.5 bahwa pada saat kompresi nilai konstanta redaman adalah 2028 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 2684 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman *Hydraulic* adalah rata-rata dari kompresi dan *rebound* yaitu **2356** Ns/m.

Dari penurunan persamaan Bernoulli untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah selang (*port*), maka hasil pengujian *viscous damping* pada subbab ini sesuai dengan teori. Variasi jumlah *port* mempengaruhi nilai konstanta redaman *viscous damping*. Pada saat *compression* nilai konstanta redaman lebih kecil dari pada saat *rebound*. Ini dikarenakan gaya yang ditransferkan pada saat *compression* lebih besar sehingga kecepatan turun absorber lebih tinggi dari pada saat *rebound*. Artinya jumlah selang menjadi faktor yang dominan dalam penentuan nilai konstanta redaman *viscous damping*.

4.2.1.2 Konstanta Redaman *Hydraulic* dan *Mechanic* (*viscous+friction damping*)

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kontribusi nilai konstanta redaman dari komponen *Hydraulic* dan *Mechanic* (*viscous+friction damping*) pada HEMSA. Berikut berturut-turut tabel hasil pengujian gaya redaman kompresi dan rebound.

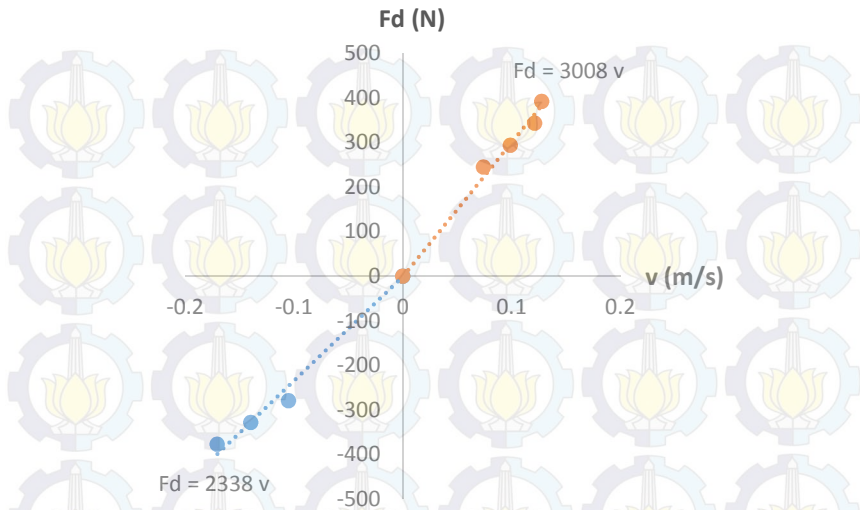
Tabel 4.4 Uji Konstanta Redaman *Viscous+Friction Damping* (*Compression*)

Berat (N)	Kecepatan (m/s)
-279.09	-0.11
-328.14	-0.14
-377.19	-0.17

Tabel 4.5 Uji Konstanta Redaman *Viscous+Friction Damping* (*Rebound*)

Berat (N)	Kecepatan (m/s)
245.25	0.07
294.30	0.10
343.35	0.12
392.40	0.13

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.4 dan 4.5 dituangkan kedalam bentuk grafik gaya redaman fungsi kecepatan, untuk mengetahui distribusi linier dari konstanta redaman *Hydraulic* dan *Mechanic* (*viscous+friction damping*). Berikut adalah grafiknya:



Gambar 4.6 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan *viscous+friction damping*

Pada gambar 4.6 bahwa pada saat kompresi nilai konstanta redaman adalah 2338 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 3008 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman *Hydraulic* dan *Mechanic* adalah rata-rata dari kompresi dan *rebound* yaitu **2673** Ns/m.

Persamaan gaya redaman akibat gesekan (*friction*) $F_d = C_f v$, dimana C_f adalah konstanta redaman friction. Gaya gesek (f_s) mempengaruhi gaya redaman yang dihasilkan akibat dari koefisien gesek kinematik (μ_k) dikalikan dengan gaya normalnya (N), $f_s = \mu_k N$. Dari hasil pengujian menunjukkan kesesuaian dengan teori, yaitu dengan bertambahnya nilai konstanta redaman akibat penambahan komponen *mechanic* pada HEMSA.

4.2.1.3 Konstanta Redaman HEMSA (*viscous+friction+electric damping*)

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kontribusi nilai konstanta redaman dari komponen *Hydraulic, Mechanic*, dan generator pada HEMSA. Berikut berturut-turut tabel hasil pengujian gaya redaman kompresi dan *rebound*:

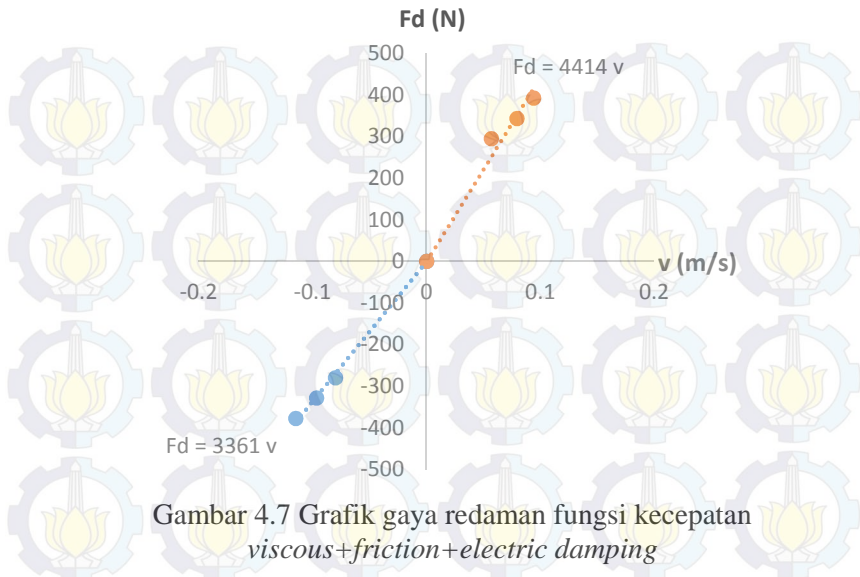
Tabel 4.6 Uji Konstanta Redaman *Viscous+Friction+Electric Damping (Compression)*

Berat (N)	Kecepatan (m/s)
-279.09	-0.08
-328.14	-0.10
-377.19	-0.11

Tabel 4.7 Uji Konstanta Redaman *Viscous+Friction+Electric Damping (Rebound)*

Berat (N)	Kecepatan (m/s)
294.30	0.05
343.35	0.07
392.40	0.08

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.6 dan 4.7 dituangkan kedalam bentuk grafik gaya redaman fungsi kecepatan, untuk mengetahui distribusi linier dari konstanta redaman *Hydraulic, Mechanic* dan generator (*viscous+friction+electric damping*). Berikut adalah grafiknya:



Gambar 4.7 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan
viscous+friction+electric damping

Pada gambar 4.7 bahwa pada saat kompresi nilai konstanta redaman adalah 3361 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 4414 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman *Hydraulic, Mechanic*, dan generator adalah rata-rata dari kompresi dan *rebound* yaitu **3887.5** Ns/m.

Dari persamaan $T_e = 2BLIRN$, dimana T_e merupakan Torsi electric dari generator (Alternator) maka hasil pengujian sesuai dengan teori. Kuat medan magnet yang dihasilkan dari Alternator adalah tetap, magnet pada alternator yang digunakan merupakan magnet permanen. Kuat medan magnet inilah yang berpengaruh pada konstanta redaman pada generator (*electric damping*) untuk pengujian gaya redaman.

4.2.1.4 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA

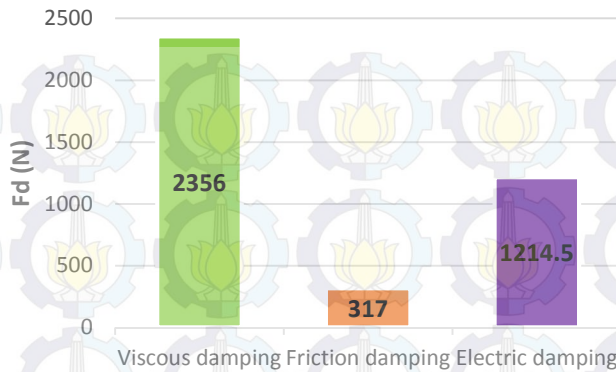
Dari beberapa pengujian gaya redaman untuk penentuan konstanta redaman *Hydarulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA), maka diperoleh distribusi konstanta redaman dari

masing-masing komponen HEMSA. Berikut berturut-turut tabel dan grafik distribusi konstanta redaman HEMSA:

Tabel 4.8 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA

Komponen HEMSA	$C_{rebound}$ (N.s/m)	$C_{compression}$ (N.s/m)	C_d (N.s/m)
<i>Viscous damping</i>	2684	2028	2356
<i>Viscous+friction damping</i>	3008	2338	2673
<i>Friction damping</i>	324	310	317
<i>Electric damping</i>	1406	1023	1214.5
<i>Total damping coefficient tanpa beban</i>	4414	3361	3887.5

Dari table 4.8 di atas dapat kita lihat bahwa nilai pada $C_{rebound}$ HEMSA lebih besar daripada nilai pada $C_{compression}$ yaitu sebesar 4414 Ns/m. Untuk *shock absorber* yang dikatakan baik adalah apabila nilai konstanta redaman pada *rebound* tersebut lebih besar daripada *compression*. Nilai redaman pada *rebound* berfungsi apabila *shock absorber* mendapatkan suatu eksitasi baik impuls ataupun periodik, *shock absorber* tersebut terkompresi sebesar 3361 Ns/m, kemudian meredam kembali seperti semula lebih besar sekitar 4414 Ns/m, sehingga penumpang hanya sedikit dapat merasakan guncangan dan nyaman dalam berkendara. Artinya, HEMSA dapat dikatakan baik untuk meredam kejutan akibat eksitasi impuls maupun periodik.



Gambar 4.8 Digram Batang Distribusi Konstanta Redaman Komponen HEMSA

Dari tabel 4.8 dan gambar 4.8 di atas, bahwa distribusi konstanta redaman komponen *hydraulic* (*viscous damping*) dari HEMSA yaitu 2356 Ns/m. Pada komponen generator (*electric damping*) dari HEMSA yaitu 1214.5 Ns/m. Sedangkan komponen *mechanic* (*friction damping*) yaitu 317 Ns/m. Hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa kontribusi gaya redaman terbesar diberikan oleh komponen *hydraulic*. Hal ini, juga dipengaruhi oleh jumlah selang, diameter selang, dan viskositas fluida yang digunakan.

4.2.2 Penentuan Konstanta Redaman HEMSA dengan Pembebanan Akumulator

Pada pengujian dengan pembebanan akumulator, terdapat 3 variasi pembebanan akumulator berdasarkan kondisi akumulator, yaitu kondisi terisi 0%, 55%, 100% (0Ah, $\pm 2,5$ Ah, 5Ah).

4.2.2.1 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 0% (0Ah)

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kontribusi nilai konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator

terisi 0%. Berikut berturut-turut tabel hasil pengujian gaya redaman kompresi dan *rebound*:

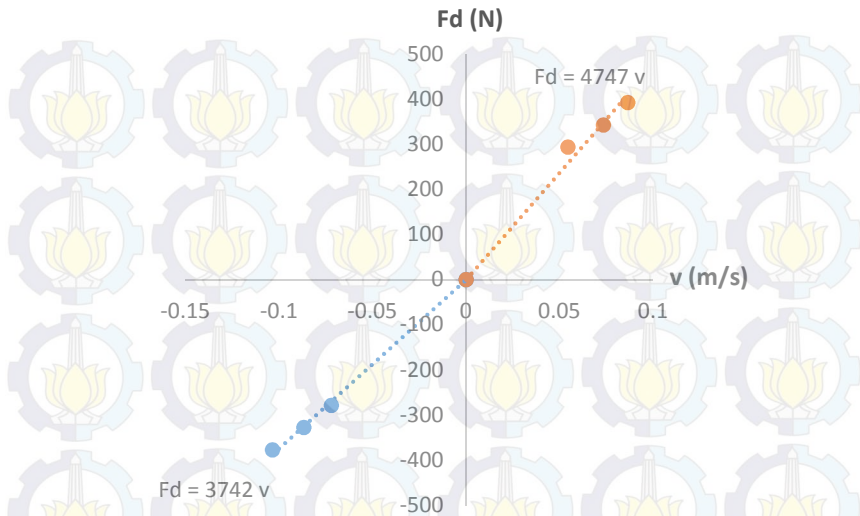
Tabel 4.9 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 0% (*Compression*)

Berat (N)	Kecepatan (m/s)
-279.09	-0.06
-328.14	-0.08
-377.19	-0.10

Tabel 4.10 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 0% (*Rebound*)

Berat (N)	Kecepatan (m/s)
294.30	0.05
343.35	0.07
392.40	0.08

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.9 dan 4.10 dituangkan kedalam bentuk grafik gaya redaman fungsi kecepatan, untuk mengetahui distribusi linier dari konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 0%. Berikut adalah grafiknya:



Gambar 4.9 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 0%

Pada gambar 4.9 bahwa pada saat kompresi nilai konstanta redaman adalah 3742 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 4747 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 0% adalah rata-rata dari kompresi dan *rebound* yaitu **4244.5 Ns/m**.

4.2.2.2 Konstanta Redaman HEMSA dengan pada saat akumulator terisi 55% ($\pm 2,5Ah$)

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kontribusi nilai konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 55%. Berikut berturut-turut tabel hasil pengujian gaya redaman kompresi dan *rebound*:

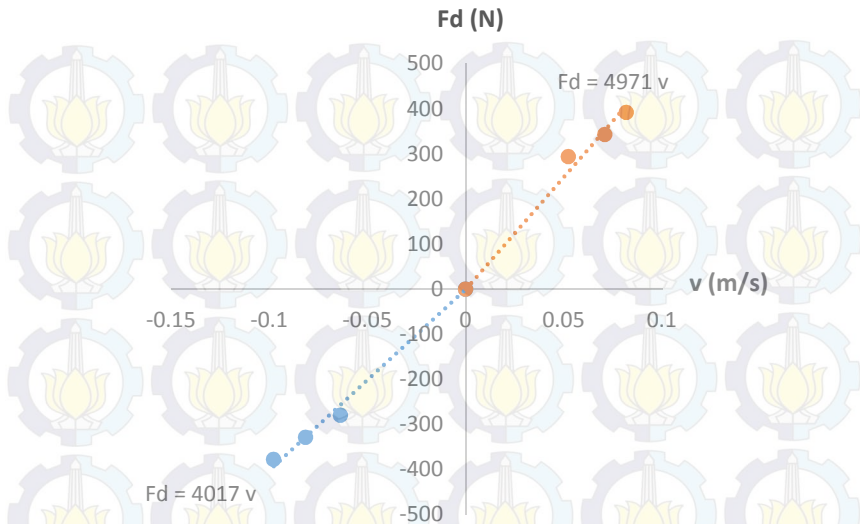
Tabel 4.11 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 55% (*Compression*)

Berat (N)	Kecepatan (m/s)
-279.09	-0.06
-328.14	-0.08
-377.19	-0.10

Tabel 4.12 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 55% (*Rebound*)

Berat (N)	Kecepatan (m/s)
294.30	0.05
343.35	0.07
392.40	0.08

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.11 dan 4.12 dituangkan kedalam bentuk grafik gaya redaman fungsi kecepatan, untuk mengetahui distribusi linier dari konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 55%. Berikut adalah grafiknya:



Gambar 4.10 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 55%

Pada gambar 4.10 bahwa pada saat kompresi nilai konstanta redaman adalah 4017 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 4971 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 55% adalah rata-rata dari kompresi dan *rebound* yaitu **4494** Ns/m.

4.2.2.3 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 100% (5Ah)

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kontribusi nilai konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 100%. Berikut berturut-turut tabel hasil pengujian gaya redaman kompresi dan *rebound*:

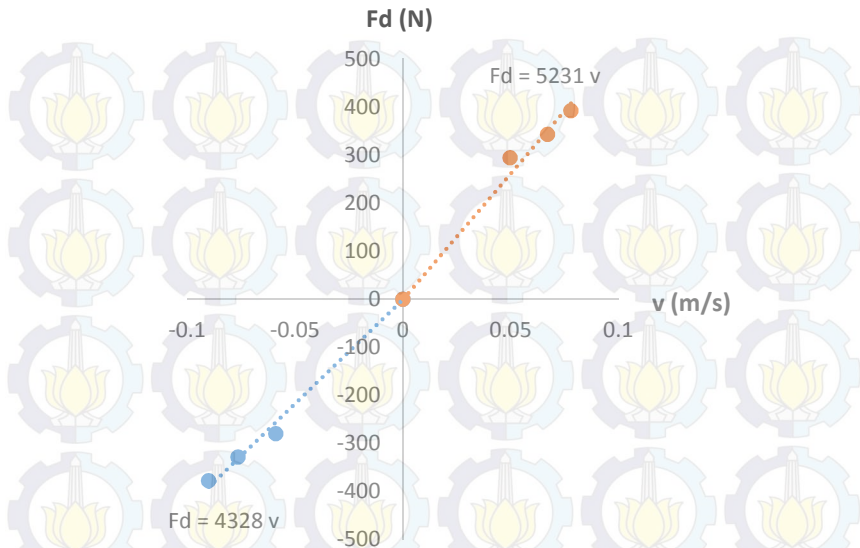
Tabel 4.13 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 100% (*Compression*)

Berat (N)	Kecepatan (m/s)
-279.09	-0.06
-328.14	-0.08
-377.19	-0.09

Tabel 4.14 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 100% (*Rebound*)

Berat (N)	Kecepatan (m/s)
294.30	0.05
343.35	0.07
392.40	0.08

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.13 dan 4.14 dituangkan kedalam bentuk grafik gaya redaman fungsi kecepatan, untuk mengetahui distribusi linier dari konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 100%. Berikut adalah grafiknya:



Gambar 4.11 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 100%

Pada gambar 4.11 bahwa pada saat kompresi nilai konstanta redaman adalah 4328 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 5231 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 100% adalah rata-rata dari kompresi dan *rebound* yaitu **4779.5 Ns/m**.

4.2.2.4 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA

Dari beberapa pengujian gaya redaman untuk penentuan konstanta redaman *Hydarulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA), maka diperoleh distribusi konstanta redaman dari masing-masing komponen HEMSA. Berikut berturut-turut tabel dan grafik distribusi konstanta redaman HEMSA:

Tabel 4.15 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 0%.

Komponen HEMSA	C rebound (N.s/m)	C compression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
<i>Viscous damping</i>	2684	2028	2356
<i>Viscous+friction damping</i>	3008	2338	2673
<i>Friction damping</i>	324	310	317
<i>Electric damping</i>	1739	1404	1571.5
<i>Total damping coefficient accu 0% charged</i>	4747	3742	4244.5

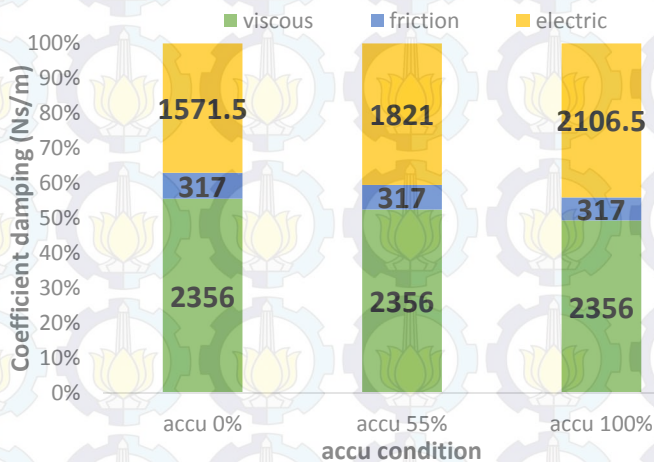
Tabel 4.16 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 55%.

Komponen HEMSA	C rebound (N.s/m)	C compression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
<i>Viscous damping</i>	2684	2028	2356
<i>Viscous+friction damping</i>	3008	2338	2673
<i>Friction damping</i>	324	310	317
<i>Electric damping</i>	1963	1679	1821
<i>Total damping coefficient accu 55% charged</i>	4971	4017	4494

Tabel 4.17 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 100%.

Komponen HEMSA	C rebound (N.s/m)	C compression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
<i>Viscous damping</i>	2684	2028	2356
<i>Viscous+friction damping</i>	3008	2338	2673

Komponen HEMSA	C rebound (N.s/m)	C compression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
<i>Friction damping</i>	324	310	317
<i>Electric damping</i>	2223	1990	2106.5
<i>Total damping coefficient accu 100% charged</i>	5231	4328	4779.5



Gambar 4.12 Diagram batang distribusi nilai konstanta redaman HEMSA dua selang *compression* satu *rebound* dengan variasi pembebanan akumulator

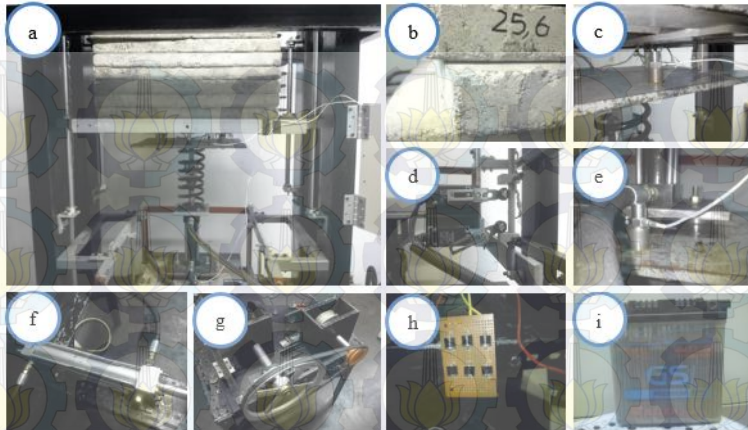
Dari beberapa tabel di atas (4.15, 4.16, 4.17) dan digram batang pada gambar 4.12 dapat kita lihat bahwa nilai C HEMSA dari keseluruhan pembebanan akumulator, yang terjadi perubahan nilai C hanya pada nilai C electric (*electric damping*). Nilai *viscous damping* pada setiap pembebanan akumulator tetap, yaitu sebesar 2356 Ns/m. Begitu pula dengan nilai *friction damping*, di setiap pembebanan akumulator nilainya tetap, yaitu sebesar 317 Ns/m. Namun, pada nilai *electric damping* terjadi kenaikan nilai

redamannya seiring bertambah kondisi terisinya akumulator. Berturut-turut nilai *electric damping*nya 1571.5 Ns/m, 1821 Ns/m, dan 2106.5 Ns/m. Hasil pengujian *electric damping* pada subbab ini tidak sepenuhnya akibat dari generator saja, tetapi juga akibat dari redaman dari *belt*.

Dari persamaan $T_e = 2BLIRN$, dimana T_e merupakan Torsi *electric* dari generator (alternator) maka hasil pengujian sesuai dengan teori. Variasi dari kondisi akumulator berpengaruh pada torsi *electric* yang terjadi pada generator. Semakin besar Arus (I) semakin besar pula nilai Torsi, yang mana diperlukan untuk memutar generator. Sehingga ini berdampak pada konstanta redaman pada generator (*electric damping*). Artinya semakin terisi akumulator, nilai konstanta redaman generator (*electric damping*) semakin meningkat.

4.3 Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA

Pada pengujian ini terdapat variasi pembebanan akumulator dengan berbagai macam kondisinya, yaitu: kondisi terisi 0%, 55%, 100% (0Ah, $\pm 2,5$ Ah, 5Ah). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon massa dan energi bangkitan HEMSA.



Keterangan gambar:

- | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| a. <i>Suspension test rig</i> | f. HEMSA (<i>viscous</i>) |
| b. Massa uji | g. HEMSA (<i>friction+electric</i>) |
| c. <i>Sprung mass</i> | h. Rangkaian penyearah (diode) |
| d. Limit switch | i. Akumulator |
| e. <i>Base exciter</i> | |

Gambar 4.13 Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA

Pada tahap ini, pengujian dilakukan di laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi Teknik Mesin ITS, tujuan dilakukan pengujian ini adalah untuk membandingkan performa dari HEMSA yaitu dengan membandingkan tingkat kenyamanan. Mekanisme yang digunakan adalah *suspension test rig* yaitu $\frac{1}{4}$ dari kendaraan mobil. Pada sistem kali ini beton digambarkan sebagai *sprung mass* yaitu massa pada kendaraan, yang besarnya 250kg, sedangkan pada *base plate* digunakan sebagai *base exciter*. Input pada pengujian respon massa berupa eksitasi impuls dan periodik dengan variasi frekuensi eksitasi yaitu 1,4 Hz, 1,7 Hz dan 2 Hz.

Adapun peralatan yang digunakan pada saat pengambilan data ini ialah sebagai berikut:

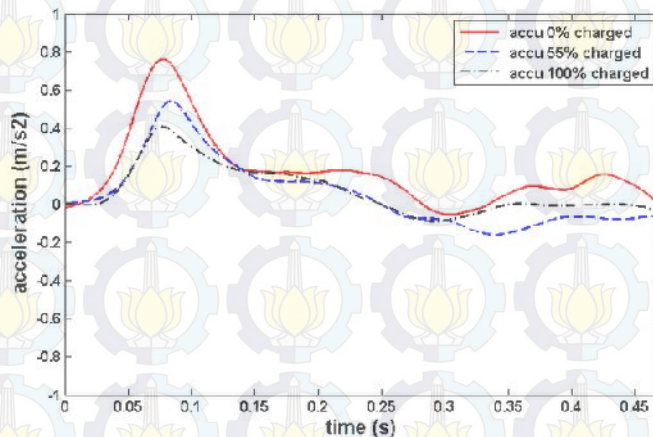
1. *Suspension test rig*

2. Oscilloscope Tektronik P 220 200 MHz 1X/10X.
3. *Accelerometer*.
4. Massa uji berupa beton (250 kg).
5. *Hydraulic Mechanic Electro Shock Absorber*.
6. Pegas.
7. Multimeter.
8. Akumulator 12 V, dengan kondisi terisi 0% *charged*, 55 % *charged* dan 100% *charged*.
9. USB Flash disk 1 MB.

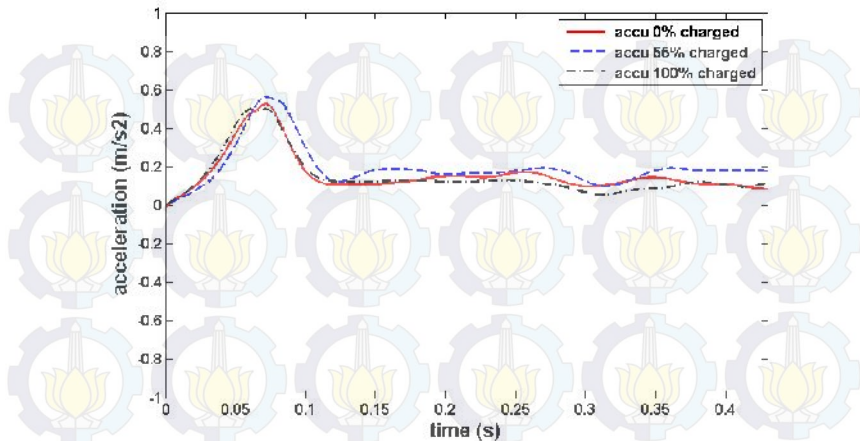
4.3.1 Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA akibat Eksitasi Impuls dan Periodik Pembebanan Akumulator

4.3.1.1 Eksitasi Impuls

Pengujian karakteristik suspensi HEMSA akibat eksitasi impuls bertujuan untuk mengetahui respon massa secara transient. Eksitasi impuls merupakan suatu gambaran profil jalan berupa bump. Pada pengujian ini diberikan input frekuensi eksitasi sebesar 1,4 Hz. Berikut adalah grafik respon massa hasil pengujian impuls.



Gambar 4.14 Grafik respon sprung mass pengujian impuls.



Gambar 4.15 Grafik respon *base exciter* (sumber eksitasi).

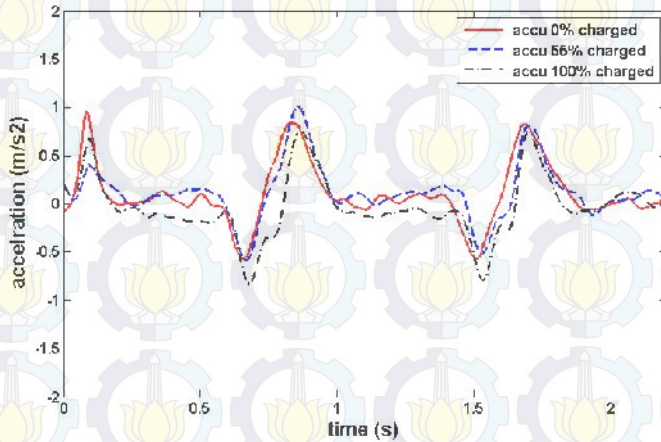
Dari hasil pengujian ini, pada gambar 4.14 di atas menunjukkan bahwa percepatan *overshoot/peak* HEMSA pada saat akumulator terisi 0%, 55%, dan 100% berturut-turut sebesar: 0.76 m/s^2 , 0.54 m/s^2 , dan 0.41 m/s^2 . HEMSA pada saat akumulator terisi 100% merupakan percepatan terendah dibandingkan dengan percepatan HEMSA dengan *accu* yang lain. Untuk akumulator 0% pada detik ke- 0.47 sudah mengalami kondisi stabil, untuk akumulator 55% mengalami keadaan stabil ketika detik ke- 0.4 dan untuk kondisi akumulator 100% mengalami kondisi stabil ketika detik ke- 0.37.

Damping ratio HEMSA pada saat akumulator terisi 0%, 55%, dan 100% berturut-turut sebesar: 0.64, 0.67, dan 0.72. Secara teori semakin tinggi nilai *damping ratio*, mendekati 1, semakin cepat waktu sistem suspensi untuk stabil. Dari hasil pengujian eksitasi Impuls menunjukkan kesesuaian dengan teori.

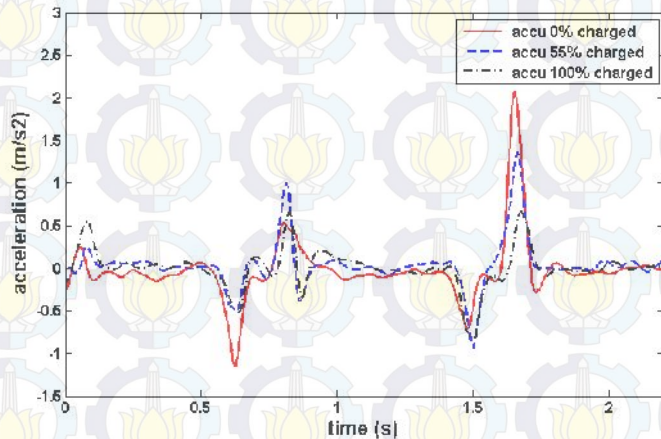
4.3.1.2 Eksitasi Periodik

a. Periodik frekuensi 1,4 Hz

Berikut adalah grafik akselerasi versus waktu dengan frekuensi 1,4 Hz dengan beban akumulator terisi 0%, 55%, dan 100% untuk pengujian eksitasi periodik.



Gambar 4.16 Grafik respon *sprung mass* eksitasi periodik 1,4Hz dengan pembebanan akumulator



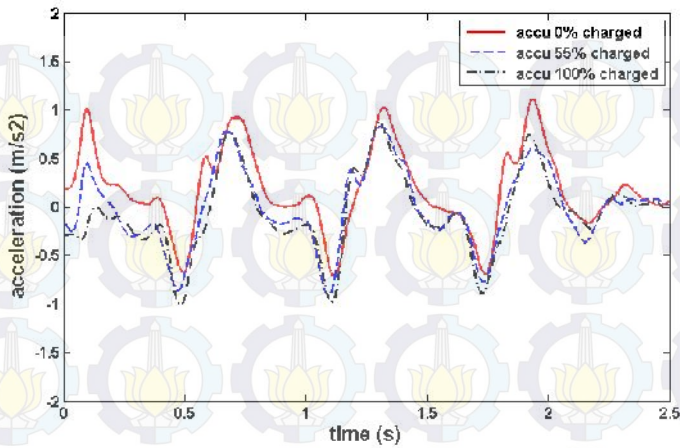
Gambar 4.17 Grafik respon *base exciter* eksitasi periodik 1,4Hz dengan pembebanan akumulator

Dari gambar 4.17, bahwa nilai rms percepatan untuk *accu* 0% *charged* sebesar 0.77 m/s^2 , *accu* 55% *charged* sebesar 0.61 m/s^2 dan *accu* 100% *charged* sebesar 0.59 m/s^2 . Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai percepatan yang dihasilkan HEMSA pada saat akumulator terisi 100% merupakan terendah nilai percepatannya dibandingkan dengan akumulator yang lain. Sedangkan, nilai rms percepatan tertinggi dihasilkan HEMSA pada saat akumulator terisi 0%. Berdasarkan pada standar ISO kenyamanan penumpang bahwa nilai percepatan rendah ialah baik. Dari uraian tersebut maka HEMSA pada saat akumulator terisi 100% paling baik segi kenyamanannya untuk frekuensi eksitasi 1,4Hz.

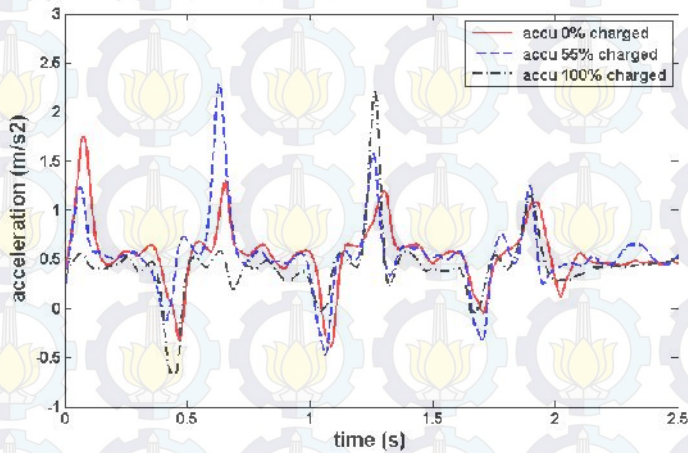
Ketidakstabilan osilasi pada getaran dari *base exciter* yang diberikan *hydraulic actuator suspension test rig* disebabkan karena adanya keterlambatan (*losses*, kelembaman), sehingga menghasilkan osilasi yang tidak stabil. Sedangkan respon percepatan getaran pada *sprung mass* lebih stabil dibandingkan dengan respon percepatan getaran dari *base exciter*, ini dikarenakan energi getaran yang diberikan pada *sprung mass* telah diserap oleh system suspensi yaitu HEMSA.

b. Periodik frekuensi 1,7 Hz

Berikut adalah grafik akselerasi versus waktu dengan frekuensi 1,7 Hz dengan beban akumulator terisi 0%, 55%, dan 100% untuk pengujian eksitasi periodik.



Gambar 4.18 Grafik respon *sprung mass* eksitasi periodik 1,7 Hz dengan pembebanan akumulator



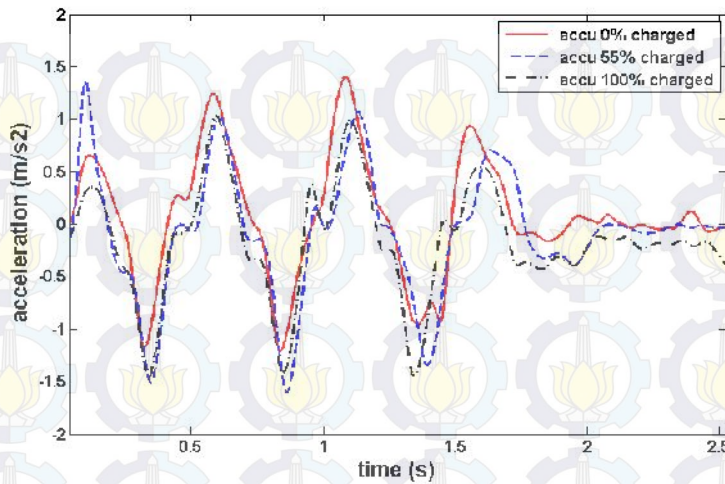
Gambar 4.19 Grafik respon *base exciter* eksitasi periodik 1,7 Hz dengan pembebanan akumulator

Dari gambar 4.18, bahwa nilai rms percepatan *sprung mass* untuk *accu 0% charged* sebesar 0.79 m/s^2 , *accu 55% charged* sebesar 0.78 m/s^2 dan *accu 100% charged* sebesar 0.77 m/s^2 . Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai percepatan yang dihasilkan HEMSA pada saat akumulator terisi 100% merupakan terendah nilai percepatannya dibandingkan dengan akumulator yang lain. Sedangkan, nilai rms percepatan tertinggi dihasilkan HEMSA pada saat akumulator terisi 0%. Berdasarkan pada standar ISO kenyamanan penumpang bahwa nilai percepatan rendah ialah baik. Dari uraian tersebut maka HEMSA pada saat akumulator terisi 100% paling baik segi kenyamanannya untuk frekuensi eksitasi 1,7Hz.

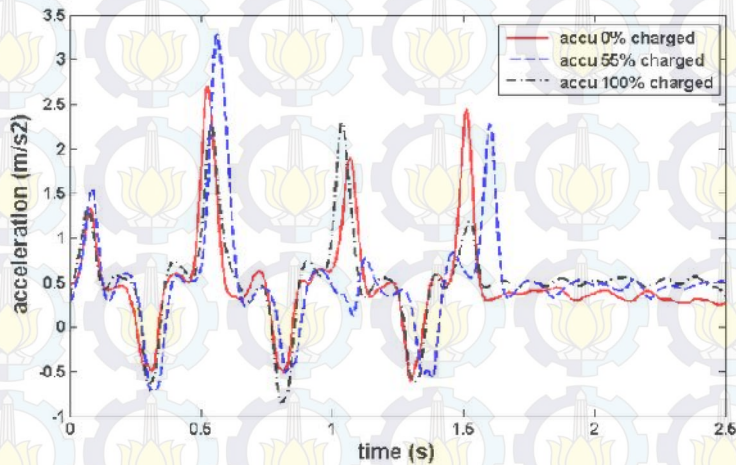
Ketidakstabilan osilasi pada getaran dari *base exciter* yang diberikan *hydraulic actuator suspension test rig* disebabkan karena adanya keterlambatan (*losses*, kelembaman), sehingga menghasilkan osilasi yang tidak stabil. Sedangkan respon percepatan getaran pada *sprung mass* lebih stabil dibandingkan dengan respon percepatan getaran dari *base exciter*, ini dikarenakan energi getaran yang diberikan pada *sprung mass* telah diserap oleh system suspensi yaitu HEMSA.

c. Periodik frekuensi 2 Hz

Berikut adalah grafik akselerasi versus waktu dengan frekuensi 2 Hz dengan beban akumulator terisi 0%, 55%, dan 100% untuk pengujian eksitasi periodik.



Gambar 4. 20 Grafik respon *sprung mass* eksitasi periodik 2 Hz dengan pembebanan akumulator



Gambar 4.21 Grafik respon *base exciter* eksitasi periodik 2 Hz dengan pembebanan akumulator

Dari gambar 4.20, bahwa nilai rms percepatan *sprung mass* untuk *accu 0% charged* sebesar 0.71 m/s^2 , *accu 55% charged* sebesar 0.83 m/s^2 dan *accu 100% charged* sebesar 0.69 m/s^2 . Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai percepatan yang dihasilkan HEMSA pada saat akumulator terisi 100% merupakan terendah nilai percepatannya dibandingkan dengan akumulator yang lain. Sedangkan, nilai rms percepatan tertinggi dihasilkan HEMSA pada saat akumulator terisi 0%. Berdasarkan pada standar ISO kenyamanan penumpang bahwa nilai percepatan rendah ialah baik. Dari uraian tersebut maka HEMSA pada saat akumulator terisi 100% paling baik segi kenyamanannya untuk frekuensi eksitasi 2 Hz.

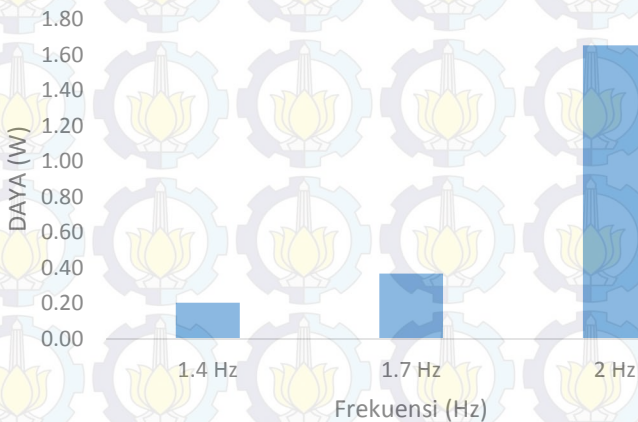
Ketidakstabilan osilasi pada getaran dari *base exciter* yang diberikan *hydraulic actuator suspension test rig* disebabkan karena adanya keterlambatan (*losses*, kelembaman), sehingga menghasilkan osilasi yang tidak stabil. Sedangkan respon percepatan getaran pada *sprung mass* lebih stabil dibandingkan dengan respon percepatan getaran dari *base exciter*, ini dikarenakan energi getaran yang diberikan pada *sprung mass* telah diserap oleh system suspensi yaitu HEMSA.

4.3.2 Pengujian Energi Bangkitan HEMSA

Pengujian energi bangkitan HEMSA dilakukan dengan cara mengukur voltase dan arus yang dibangkitkan oleh generator dengan menggunakan multimeter. Pada pengujian ini, energi bangkitan yang diukur adalah akibat eksitasi periodik. Pengukuran energi bangkitan HEMSA dengan pembebanan akumulator tidak dapat dilakukan dikarenakan tegangan jepit yang terukur adalah tegangan dari akumulator. Sehingga, pengukuran energi bangkitan pada pengujian menggunakan bohlam (R 250 Ohm) sebagai pembebanan. Berikut adalah tabel hasil energi bangkitan HEMSA pada eksitasi periodik:

Tabel 4.18 Energi bangkitan eksitasi periodik

ENERGI BANGKITAN PERIODIK				
FREKUENSI EKSITASI (f)	VOLTASE (V)	RMS VOLTASE (Vrms)	ARUS (A)	DAYA (W)
1.4 Hz	1.25	0.88	0.23	0.20
1.7 Hz	2	1.41	0.26	0.37
2 Hz	6	4.24	0.39	1.65



Gambar 4.22 Diagram batang energi bangkitan HEMSA eksitasi periodik 1.4 Hz, 1.7 Hz, 2Hz.

Dari gambar 4.22 nilai energi bangkitan yang dihasilkan HEMSA dengan frekuensi 1.4 Hz yaitu sebesar 0.2 Watt, lalu energi bangkitan yang dihasilkan HEMSA ketika frekuensi 1.7 Hz ialah 0.37 Watt, dan yang dihasilkan HEMSA dengan frekuensi 2 Hz sebesar 1.65 Watt. Dapat disimpulkan semakin besar frekuensi yang diberikan maka semakin besar pula energi yang dihasilkan oleh HEMSA.

4.3.3 Performa *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber*

a. Efisiensi

Dengan dilakukannya beberapa pengujian pada HEMSA yaitu pengujian eksitasi impuls dan periodik. Dapat dibandingkan performa dari masing-masing alat tersebut dengan menghitung efisiensi HEMSA dua selang *compression* satu *rebound* di setiap variasi pembebanan akumulator, dengan membandingkan *power output* terhadap *power input*. *Power output* (P_o) merupakan energi bangkitan yang dihasilkan oleh HEMSA berupa energi listrik. *Power input* (P_i) adalah energi yang timbul akibat dari gaya redaman dikalikan kecepatan relatif sistem suspensi. $P_i = \int Fd \, dz$, dimana Fd adalah gaya redaman, dan \dot{z} adalah kecepatan relatif antara *base exciter* dengan *sprung mass*.

Data yang didapatkan dari hasil pengujian dihitung kemudian dituangkan kedalam grafik. Berikut berturut-turut data hasil pengujian yang dihasilkan oleh HEMSA dua selang *compression* satu *rebound*:

Tabel 4.19 Efisiensi HEMSA pada saat pada saat akumulator terisi 0%

$\zeta = 0,64$ <i>accu 0% charged</i>				
Frekuensi eksitasi (Hz)	Cd (Ns/m)	v (m/s)	P input (W)	P output (W)
1.4	4244.5	0.056	6.66	0.2
1.7	4244.5	0.068	9.81	0.37
2	4244.5	0.08	13.6	1.65

Tabel 4.20 Efisiensi HEMSA pada saat pada saat akumulator terisi 55%

$\zeta = 0,67$ <i>accu 55% charged</i>				
Frekuensi eksitasi (Hz)	Cd (Ns/m)	v (m/s)	P input (W)	P output (W)
1.4	4494	0.056	7.05	0.2
1.7	4494	0.068	10.39	0.37
2	4494	0.08	14.4	1.65

Tabel 4.21 Effisiensi HEMSA pada saat pada saat akumulator terisi 100%

$\zeta = 0,72$ <i>accu 100% charged</i>				
Frekuensi eksitasi (Hz)	Cd (Ns/m)	v (m/s)	P input (W)	P output (W)
1.4	4779.5	0.056	7.49	0.2
1.7	4779.5	0.068	11.05	0.37
2	4779.5	0.08	15.3	1.65

Untuk mendapatkan power input berikut contoh perhitungan, untuk akumulator 0% pada frekuensi eksitasi 1,4 Hz:

Diketahui: $c = 4244,5 \text{ Ns/m}$
 $f = 1,4 \text{ Hz}$
 $A = 2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m}$

dari persamaan $P_i = \int F d \dot{z}$, bila diinteggralkan menjadi:

$$P_i = \int c \dot{z} d\dot{z} \quad \text{dimana } Fd = c \dot{z}$$

$$P_i = c \int \dot{z} d\dot{z}$$

Maka, persamaan menjadi:

$$P_i = \frac{1}{2} c \dot{z}^2 \quad \text{dimana } \dot{z} = 2 A f$$

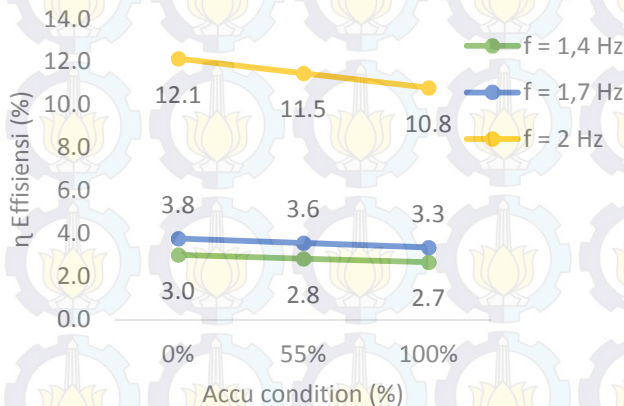
$$P_i = \frac{1}{2} 4244,5 (2 \times 0.02 \times 1,4)^2$$

$$P_i = 6,66$$

Sehingga, $\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\%$

$$\eta = \frac{0,2}{6,66} \times 100\% = 3\%$$

Di bawah ini merupakan grafik efisiensi daya HEMSA hasil perhitungan dari berbagai pembebanan akumulator dan frekuensi eksitasi:



Gambar 4.23 Grafik efisiensi performa HEMSA pembebanan akumulator

Dari gambar 4.23 dapat dilihat bahwa *trendline* efisiensi performa HEMSA dari setiap variasi pembebanan akumulator terjadi penurunan dengan bertambahnya kondisi pengisian akumulator di tiap-tiap frekuensi eksitasi yang diberikan. Dari grafik di atas menunjukkan bahwa *trendline* sesuai dengan teori, dimana semakin terisi akumulator maka efisiensi daya semakin menurun. Artinya *power input* yang semakin besar akibat nilai konstanta redaman yang meningkat tidak diikuti *power output* yang dihasilkan. Hal ini yang mengakibatkan penurunan efisiensi daya HEMSA.

b. Transmissibilitas HEMSA

Dengan dilakukannya beberapa pengujian pada HEMSA yaitu pengujian eksitasi impuls dan periodik. Dapat kita bandingkan performa dari masing-masing alat tersebut dengan menggunakan grafik *force transmissibility* terhadap *ratio frekuensi*,

data yang kita dapatkan dari hasil pengujian dituangkan kedalam grafik. Berikut berturut-turut data hasil pengujian yang dihasilkan oleh HEMSA:

Tabel 4.22 Transmissibilitas HEMSA teoritis dan percobaan pada saat akumulator terisi 0%

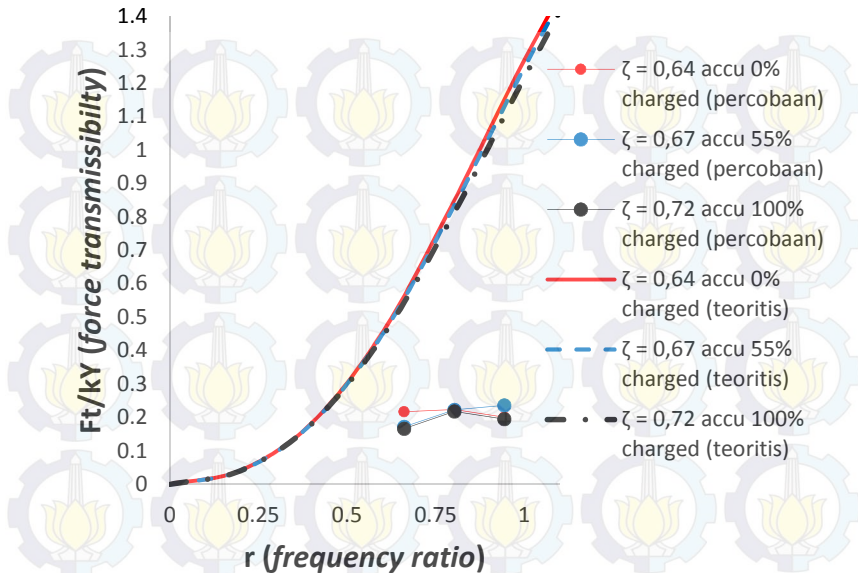
$\zeta = 0,64$ accu 0% charged					
Frekuensi eksitasi (Hz)	r	ω	ω_n	F_T/kY teoritis	F_T/kY percobaan
1.4	0.66	8.80	13.32	0.53	0.22
1.7	0.80	10.69	13.32	0.86	0.22
2	0.94	12.57	13.32	1.26	0.20

Tabel 4.23 Transmissibilitas HEMSA teoritis dan percobaan pada saat akumulator terisi 55%

$\zeta = 0,67$ accu 55% charged					
Frekuensi eksitasi (Hz)	r	ω	ω_n	F_T/kY teoritis	F_T/kY percobaan
1.4	0.66	8.80	13.32	0.53	0.17
1.7	0.80	10.69	13.32	0.86	0.22
2	0.94	12.57	13.32	1.27	0.24

Tabel 4.24 Transmissibilitas HEMSA teoritis dan percobaan pada saat akumulator terisi 100%

$\zeta = 0,72$ accu 100% charged					
Frekuensi eksitasi (Hz)	r	ω	ω_n	F_T/kY teoritis	F_T/kY percobaan
1.4	0.66	8.80	13.32	0.53	0.17
1.7	0.80	10.69	13.32	0.87	0.22
2	0.94	12.57	13.32	1.28	0.20



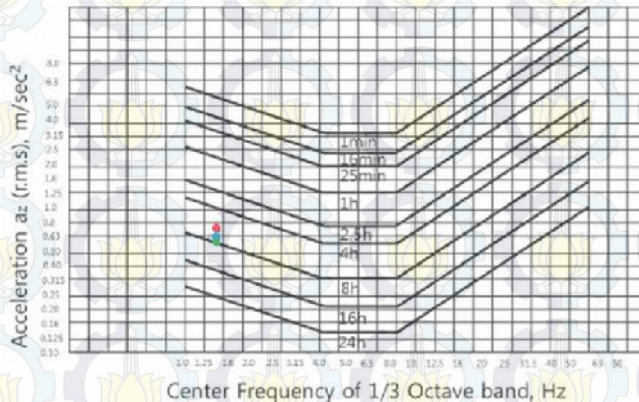
Gambar 4.24 Grafik *force transmissibility* (F_T/kY) versus *frequency ratio* (r)

Dari hasil grafik pada gambar 4.24 di atas menunjukkan hubungan antara *force transmissibility* dengan *frequency ratio*. Proses perhitungan dilakukan dengan membandingkan RMS percepatan *sprung mass* dan *base exciter* yang terdapat pada tiap-tiap *damping ratio*, baik teoritis maupun percobaan. Dapat dilihat dari grafik di atas, *trendline* secara teoritis nilai *force transmissibility* meningkat seiring bertambahnya *frequency ratio* di setiap *damping ratio*. Sedangkan dari hasil eksperimen (percobaan) mengalami kenaikan kemudian penurunan. *Trendline* pada $\zeta = 0,64$ accu 0% charged mengalami penurunan saat $r = 0,66$ dan $r = 0,8$ nilai F_T/kY sama besar yaitu 0,22 kemudian saat $r = 0,94$ nilai F_T/kY sebesar 0,2. Kenaikan terjadi pada *trendline* $\zeta = 0,67$ accu 55% charged dimulai dari $r = 0,66$ $r = 0,8$ dan $r = 0,94$ berturut-turut nilai F_T/kY sebesar 0,17; 0,22; dan 0,24. Pada $\zeta = 0,72$ accu 100% charged mengalami peningkatan terus menerus dari $r = 0,66$ $r = 0,8$ dan $r = 0,94$ berturut-turut nilai F_T/kY sebesar 0,17; 0,22; dan 0,24.

0,72 *accu* 100% *charged trendline* terjadi kenaikan kemudian penurunan. Kenaikan dimulai dari $r = 0,66$ sampai dengan $r = 0,8$ dengan nilai F_T/kY sebesar 0,17 ke 0,22. Kemudian, mengalami penurunan dari $r = 0,8$ sampai $r = 0,94$ dengan nilai F_T/kY sebesar 0,22 ke 0,20.

Dari hasil *trendline* analisa grafik dapat disimpulkan bahwa, pada titik *frequency ratio* dengan *damping ratio* yang lebih besar menghasilkan nilai *force transmissibility* lebih besar. Kondisi pengisian akumulator mempengaruhi nilai *force transmissibility*, ini disebabkan nilai konstanta redaman yang meningkat maka nilai *damping ratio* pun meningkat. Dari ketiga *trendline* grafik hasil eksperimen (percobaan) jauh dari grafik teoritis. Hal ini disebabkan mekanisme HEMSA mempunyai nilai konstanta redaman berbeda-beda, yang terdiri dari beberapa komponen yaitu *hydraulic*, *mechanic*, dan generator serta pengaruh kondisi terisinya akumulator sebagai pembebanan. Juga, kemungkinan terjadi akibat keterbatasan alat ukur atau HEMSA tidak bekerja dengan maksimal.

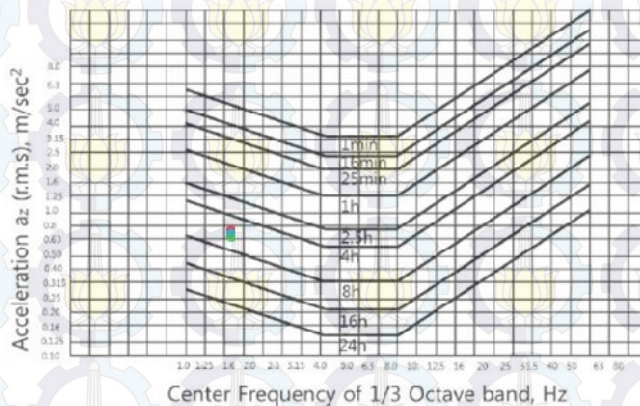
c. ISO 2631 Kenyamanan Penumpang



Gambar 4.25 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,4 Hz. (merah) *accu* 0% *charged* (biru) *accu* 55% *charged* (hijau) *accu* 100% *charged*

Pada gambar 4.25, dapat dilihat nilai rms percepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 0% yaitu sebesar 0.77 m/s^2 . lalu nilai rms percepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 55% yaitu sebesar 0.61 m/s^2 . Dan, nilai rms percepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 100% yaitu sebesar 0.59 m/s^2 .

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO 2631 menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,4 Hz pada saat akumulator terisi 0% (merah) berada di range waktu 5,5 jam. Pada saat akumulator terisi 55% (biru) berada di range waktu 7 jam. Kemudian pada saat akumulator terisi 100% (hijau) berada di range waktu 8 jam. Artinya, penumpang dapat menerima guncangan selama 5,5 sampai dengan 8 jam pada frekuensi eksitasi periodik sebesar 1,4 Hz untuk penggunaan HEMSA dengan pembebanan akumulator baik pada saat terisi 0%, 55%, dan 100%.

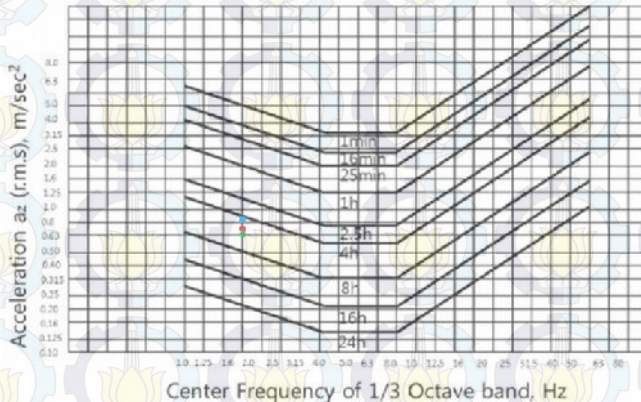


Gambar 4.26 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,7 Hz. (merah) *accu 0% charged* (biru) *accu 55% charged* (hijau) *accu 100% charged*

Pada gambar 4.26, dapat dilihat nilai rms percepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 0% yaitu sebesar 0.79 m/s^2 , nilai rms percepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 55%

yaitu sebesar 0.78 m/s^2 dan nilai rms percepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 100% yaitu sebesar 0.77 m/s^2 .

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO 2631 menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,7 Hz, pada saat akumulator terisi 0% (merah) berada di range waktu 5 jam. Pada saat akumulator terisi 55% (biru) berada di range waktu 5,5 jam. Kemudian pada saat akumulator terisi 100% (hijau) berada di range waktu 6 jam. Artinya, penumpang dapat menerima guncangan selama 5 sampai dengan 6 jam pada frekuensi eksitasi periodik sebesar 1,7 Hz untuk penggunaan HEMSA dengan pembebanan akumulator baik pada saat terisi 0%, 55%, dan 100%.

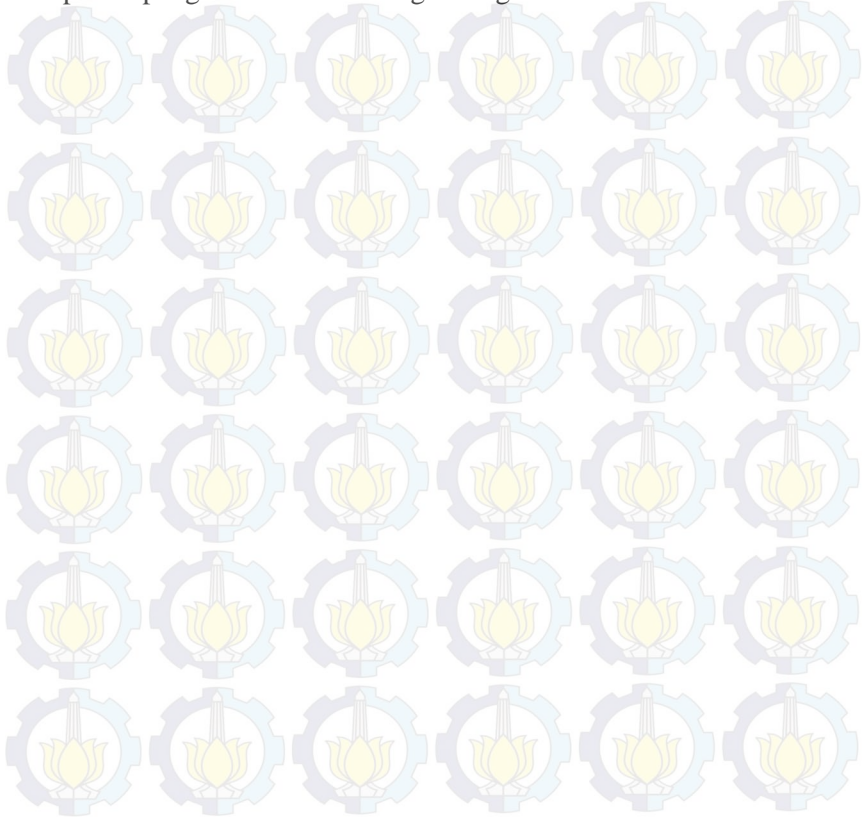


Gambar 4.27 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 2 Hz. (merah) *accu 0% charged* (biru) *accu 55% charged* (hijau) *accu 100% charged*

Pada gambar 4.27, dapat dilihat nilai rms percepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 0% sebesar 0.71 m/s^2 , nilai rms percepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 100% yaitu sebesar 0.83 m/s^2 dan nilai rms percepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 100% yaitu sebesar 0.69 m/s^2 .

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO 2631 menggunakan HEMSA

akibat eksitasi periodik 2 Hz, pada saat akumulator terisi 0% (merah) berada di range waktu 5,7 jam. Pada saat akumulator terisi 55% (biru) berada di range waktu 4 jam. Kemudian pada saat akumulator terisi 100% (hijau) berada di range waktu 6 jam. Artinya, penumpang dapat menerima guncangan selama 4 sampai dengan 6 jam pada frekuensi eksitasi periodik sebesar 2 Hz untuk penggunaan HEMSA dengan pembebanan akumulator baik pada sat terisi 0%, 55%, dan 100%. Namun, nilai RMS percepatan pada *accu 55% charged* hampir mendekati daerah 4 jam lamanya penumpang dalam menerima guncangan.





Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil eksperimen pada *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai konstanta pegas dari hasil pengujian yang digunakan untuk HEMSA adalah sebesar 44357.5 N/m.
2. Variasi jumlah port mempengaruhi nilai konstanta redaman *viscous damping*. Pada saat *compression* nilai konstanta redaman lebih kecil dari pada saat *rebound*. Ini dikarenakan kecepatan turun absorber pada saat *compression* lebih cepat dari pada saat *rebound*. Artinya jumlah selang menjadi faktor yang dominan dalam penentuan nilai konstanta redaman *viscous damping*.
3. Nilai konstanta redaman HEMSA dua selang *compression* satu *rebound* tanpa pembebanan sebesar 3887.5 Ns/m. Dengan nilai *compression* sebesar 3361 Ns/m dan *rebound* sebesar 4414 Ns/m. Ini berarti HEMSA dua selang *compression* satu *rebound* dapat dikatakan baik untuk meredam kejutan akibat eksitasi impuls dan periodik.
4. Variasi dari kondisi akumulator berpengaruh pada torsi *electric* yang terjadi pada generator. Semakin besar Arus (I) semakin besar pula nilai torsi, yang mana diperlukan untuk memutar generator. Sehingga ini berdampak pada konstanta redaman pada generator (*electric damping*). Artinya semakin terisi akumulator, nilai konstanta redaman generator (*electric damping*) semakin meningkat.
5. Hasil pengujian *electric damping* tidak sepenuhnya akibat dari generator saja, tetapi juga akibat dari redaman dari *belt*.
6. Nilai konstanta redaman HEMSA dua selang *compression* satu *rebound* pembebanan Akumulator. Pada saat akumulator terisi 0% sebesar 4244.5 N.s/m, Pada saat akumulator terisi 55% sebesar 4494 Ns/m, Pada saat akumulator terisi 100%

sebesar 4779.5 Ns/m. Artinya, semakin terisi akumulator nilai konstanta redaman semakin meningkat.

7. Pada pengujian Impuls, nilai percepatan *peak* HEMSA pada saat akumulator terisi 0%, 55%, dan 100% berturut-turut sebesar: 0.76 m/s^2 , 0.54 m/s^2 , dan 0.41 m/s^2 .
8. Energi bangkitan HEMSA dua selang *compression* satu, ketika frekuensi 1.4Hz yaitu sebesar 0.2 Watt, ketika frekuensi 1.7Hz ialah 0.37 Watt, dan ketika frekuensi 2Hz sebesar 1.65 Watt. Dapat disimpulkan semakin besar frekuensi yang diberikan maka semakin besar pula energi yang dihasilkan oleh HEMSA.
9. Semakin terisi akumulator maka efisiensi daya semakin menurun. Disebabkan *power input* yang semakin besar akibat nilai konstanta redaman yang meningkat tidak diikuti *power output* yang dihasilkan. Hal ini yang berdampak pada penurunan efisiensi daya HEMSA.
10. Transmissibilitas HEMSA dari grafik F_T/kY vs r , hasil pengujian jauh dari perhitungan teoritis. Ini disebabkan mekanisme HEMSA mempunyai nilai konstanta redaman berbeda-beda, akibat dari beberapa komponen yaitu *hydraulic*, *mechanic*, dan generator serta pengaruh kondisi terisinya akumulator sebagai pembebanan.
11. Dari grafik kenyamanan penumpang standart ISO 2631, dari keseluruhan variasi pembebanan akumulator, penumpang mampu menerima guncangan selama 4 sampai dengan 8 jam. Dengan rata-rata 6 jam penumpang mampu untuk menerima guncangan.
12. Efisiensi terbesar terjadi pada saat HEMSA dua selang *compression* satu *rebound* menerima eksitasi periodik dengan frekuensi eksitasi 2 Hz, yaitu sebesar 12.1% dengan kemampuan menerima guncangan selama 8 jam.

5.2 Saran

Adapun saran-saran yang dapat diberikan sebagai acuan dalam penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Untuk pengujian gaya redaman, seyogyanya melakukan pengadaan alat uji gaya redaman untuk mempermudah dan keakuratan data yang dihasilkan, atau dilakukan di rekanan perusahaan seperti di PT Kayaba Indonesia atau PT Showa Mfg. Karena pengujian gaya redaman yang dilakukan pada penelitian ini memiliki tingkat error yang cukup tinggi, akibat pengukuran yang dilakukan secara manual.
2. Proses desain dan manufaktur alat harus disesuaikan dengan kebutuhan spesifikasi alat uji agar hasil yang diharapkan dalam penelitian dapat dilakukan pengujian sesuai perencanaan pengujian.
3. Perlu perhatian lebih untuk proses *oil filling* untuk *hydraulic* pada HEMSA, pastikan *hydraulic* terisi penuh agar mendapatkan data yang lebih valid.
4. Perlu optimasi kinerja *Suspension test rig*. Terutama pada bagian linear guide untuk linear bearing, karena sering terjadi kerusakan bearing.
5. Perlu adanya sensor tambahan pada alat sensor *suspension test rig* untuk mengetahui Amplitudo pada massa *sprung* dan *unsprung*.
6. Pada perancangan RSA ini, gear yang dipakai adalah *rack pinion gear* dan *bevel gear*, pada pembuatan HEMSA sendiri tidak menggunakan dimensi gear yang telah didesain. Agar alat berfungsi sesuai perancangan maka, digunakan komponen yang sesuai dengan hasil desain rancang bangun.
7. Melakukan perawatan pada alat-alat uji secara berkala dan material handling yang baik.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] _____. "Hybrid Vehicle". university of tennssee chattanooga, [online], (<http://www.utc.edu/college-engineering-computer-science/research-centers/cete/hybrid.php>), diakses tanggal 05/04/2014
- [2] Anderson, Zack. "energy-harvesting shock absorbers". Massachusetts Institute of Technology, [online], (<http://web.mit.edu/newsoffice/2009/shock-absorbers-0209.html>), diakses tanggal 05/04/2014
- [3] Bart L.J. Gysen dkk. 2010. *Active Electromagnetic Suspension System for Improved Vehicle Dyamics*, Eindhoven University of Technology, Netherlands.
- [4] Zhigang Fang, dkk. 2013. *Experimental Study of Damping and Energy Regeneration Characteristics of a Hydraulic Electromagnetic Shock Absorber*. Wuhan University of Technology. China
- [5] Laksana Guntur, Harus. 2013. *Development and Analysis of a Regenerative Shock Absorber for Vehicle Suspension*. JSME Journal of System Design and Dynamics.
- [6] S. Rao, Singiresu. 2004. *Mechanical Vibration*. Prentice Hall PTR. Singapore.
- [7] Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D dan Dr. Ir. Bambang Sampurno, MT., *Teknologi Otomotif Edisi Kedua*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia.
- [8] W. Fox, Robert. *Introduction to Fulid Mechanics 7th edition*. John Wiley & Sons. USA.



RIWAYAT HIDUP



Dodi Tri Handriyanto dilahirkan di Taman Cari, 03 November 1989. Merupakan putra ketiga dari empat bersaudara, dari pasangan Budi Hariyanto dan Indriyah.

Memulai pendidikan dasar di SD N 1 Taman Endah, Purbolinggo, Lampung Timur dan lulus pada tahun 2001, kemudian melanjutkan studinya ke SMP N 1 Metro dan lulus pada tahun 2004. Kemudian kembali melanjutkan ke SMA N 3 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2007. Setelah menamatkan SMA, penulis melanjutkan studi ke Universitas Gadjah Mada tepatnya pada jurusan Diploma Teknik Mesin UGM pada tahun 2008 dan lulus pada tahun 2011, selanjutnya penulis meneruskan studi sarjana di Teknik Mesin ITS, kemudian fokus pada bidang studi DESAIN di Laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi. Pada bulan Juni 2014 Penulis menyelesaikan Tugas Akhir di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.